



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Raul Loog

**PÄIKESEKÜTTESÜSTEEMI TÖÖPARAMETREID
MÕÕTEV SÜSTEEM MIKROARVUTI BAASIL**

**MEASURING SYSTEM FOR OPERATING PARAMETERS OF
SOLAR HEATING SYSTEM BASED ON A MICROCOMPUTER**

Magistritöö
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: Veli Palge, *DSc*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Raul Loog		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Päikeseküttesüsteemi tööparameetreid mõõtev süsteem mikroarvuti baasil			
Lehekülgi: 74	Jooniseid: 30	Tabeleid: 3	Lisasid: 11
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17 Energeetikaalased uuringud;			
CERCS: T140 Energeetika			
Juhendaja(d): Veli Palge, DSc			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018			
<p>Eesti Maaülikool omab alates 2008. aastast päikeseküttesüsteemi TiSUN SWS 2,5W/BE200. Mainitud päikeseküttesüsteemi tööparameetreid on mõõdetud alates aastast 2009 kuni praeguseni. Aja möödudes on mitmed kasutatavad andurid töötamise lõpetanud ning mõõtesüsteem on hakanud amortiseeruma.</p> <p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli koostada mikroarvuti baasil paneelile langeva päikese kiirguse ja päikeseenergiat muundava ja koguva süsteemi tööparameetreid mõõtev, registreeriv ning kuvav süsteem.</p> <p>Mõõtesüsteem baseerub mikroarvutil Raspberry Pi 2 mudel B V1.1-l. Püranomeetrite väljundsignaalide lugemise võimekuseks kasutati Raspberry Pi laiendusplaati Waveshare AD/DA Board-i. Töö tulemusena valmis mõõtesüsteem, mis mõõdab 14 erinevat temperatuuriväärtust, kolme kiiritustiheduse (kaks horisontaalses asendis ning üks päikese kollektori asendis) väärtust ning akumulatsioonipaagist väljuva vee hulka. Kiiritustiheduse mõõtmisi võrreldi Eesti Maaülikooli tehnikamaja katusel asuva ilmajaama ning Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel asuva ilmajaama mõõtmistulemusega. Temperatuuride mõõtmistulemusi võrreldi hetkel kasutuses olevate päikeseküttesüsteemi tööparameetreid mõõtvate süsteemide mõõtmistulemustega. Mõõtmistulemuste võrdlemisel järeldati, et mõõtmisüsteemi loomine mikroarvuti baasil õnnestus. Loodud mõõtmisüsteemi abil on võimalik põhjalikumalt uurida päikeseküttesüsteemi toimimist ning hinnata päikeseküttesüsteemi efektiivsust.</p>			
Märksõnad: Päikeseküttesüsteem, Raspberry Pi, Waveshare AD/DA Board, püranomeeter			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Raul Loog		Curriculum: <i>Energy Engineering</i>	
Title: <i>Measuring System for Operating Parameters of Solar Heating System Based on a Microcomputer</i>			
Pages: 74	Figures: 30	Tables: 3	Appendixes: 11
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering			
Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17 Energetic Research;			
CERCS: T140 Energy research			
Supervisors: Veli Palge, <i>DSc</i>			
Place and date: Tartu 2018			
<p>Estonian University of Life Sciences has been using the TiSUN SWS 2.5W / BE200 solar heating system since 2008. The operating parameters of the solar heating system have been measured since 2009. As time has gone by, many of the used sensors have stopped working and the measurement system has started to depreciate.</p> <p>The aim of this Master's thesis was to create a measurement, recording and display system for the operation parameters of a solar heating system based on a microcomputer.</p> <p>The measuring system was based on the Raspberry Pi 2 Model B V1.1 microcomputer. The ability to read the pyranometer output signals was based on the Waveshare AD/DA Board. The result is a measuring system that measures 14 different temperature values, three values of irradiance (two in the horizontal position and one in the position of the solar collector) and the amount of water leaving the accumulation tank. The measurements of irradiance were compared with the measurement results of the weather stations located on the roofs of the Estonian University of Life Sciences Technological Center and the University of Tartu physics building. The temperature measurement results were compared to the measurement results of systems measuring the operational parameters of the solar heating system. When comparing the measurement results, it was concluded that the creation of a measurement system based on a microcomputer was successful. Created measurement system allows us to study the functioning of the solar heating system in more detail and evaluate the efficiency of the solar heating system.</p>			
Keywords: Solar heating system, Raspberry Pi, Waveshare AD/DA Board, pyranometer			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID.....	6
SISSEJUHATUS.....	8
1. EESTI MAAÜLIKOOLI PÄIKESEKÜTTESÜSTEEM	9
2. PÄIKESEKÜTTESÜSTEEMI TÖÖPARAMETRITE MÕÕTMINE.....	11
2.1. Päikeseküttesüsteemi tööparameetrid	11
2.2. Soojusarvesti RESOL WMZ	11
2.3. Arvutipõhine mõõtesüsteem signaaluunduri TC-08 baasil	13
3. UUE MÕÖTESÜSTEEMI ARENDUS	16
3.1. Eesmärk	16
3.2. Olemasolevad seadmed.....	16
3.2.1. Püranomeetrid SP Lite2 ja CMP6	16
3.2.2. Veearvesti sensoriplokk Cyble	18
3.3. Valitud seadmed	18
3.3.1. Raspberry Pi 2 Model b	18
3.3.2. Waveshare AD/DA Board	20
3.3.3. Temperatuuriandur DS18B20	22
3.3.4. Moodulkilp 3M IP65 Legrand	23
3.4. Valmistatud lisaplaat.....	24
3.5. Seadmete spetsifikatsioon.....	25
3.6. Seadmete ühendamise	26
4. RASPBERRY PI HÄÄLESTUS	30
4.1. Raspberry Pi seadistamine	30
4.2. Operatsioonisüsteemi Raspbian installeerimine	30
4.3. Kaughaldustarkvara VNC Server installeerimine.....	31
4.4. Temperatuuriandurite lugemise võimekuse tekitamine.....	32
4.5. Laiendusplaadi Waveshare AD/DA Boardi kasutamise võimekuse tekitamine...	32
4.6. Veearvesti impulsside lugemise võimekuse tekitamine	33
4.7. Veebiserveri seadistamine	33
4.8. Mõõteandmete salvestamise juhtprogrammi koostamine.....	35
4.9. Raspberry Pi mõõtetulemuste kuvamine veebis	36
5. MÕÕTMISTULEMUSED JA ANALÜÜS	39
5.1. Mõõtmiste üldinfo.....	39
5.2. Päikeseküttesüsteemi mõõtmistulemused 14. aprill 2018	39
5.2.1. Raspberry Pi mõõtesüsteemi mõõtmistulemused.....	39
5.2.2. Temperatuurimõõtmiste võrdlus.....	42
5.2.3. Kiirguse mõõtmiste võrdlus	46
5.2.4. Veehulga mõõtmiste võrdlus	48
5.2.5. Päikeseküttesüsteemi kasuteguri määramine	49
5.3. Esinenud mõõtmisüsteemi rikked	51
KOKKUVÕTE	54
KIRJANDUS.....	56
LISAD.....	59
Lisa A. Signaaluundur TC-08 tehnilised andmed	60
Lisa B. Püranomeeter SP Lite2 tehnilised andmed	61
Lisa C. Püranomeeter CMP6 tehnilised andmed.....	62
Lisa D. Analoo-digitaalkoodmuunduri ADS1256 tehnilised andmed.....	63

Lisa E. Temperatuuride mõõtmise juhtprogramm.....	65
Lisa F. Kiiritustiheduse mõõtmise juhtprogramm.....	67
Lisa G. Veehulga mõõtmise juhtprogramm	70
Lisa H. Kiiritustiheduse graafiku kuvamine veebilehel	71
Lisa I. Temperatuuride graafiku kuvamine veebilehel.....	72
Lisa J. Akumulatsioonipaagist väljuva veehulga graafiku kuvamine veebilehel.....	73
LIHTLITSENTS.....	74

TÄHISED JA LÜHENDID

.csv	–	komadega eraldatud väärtustega andmefail (<i>comma separated values</i>)
.zip	–	arhiveerimise failiformaat
AD/DA	–	analoog-digitaal / digitaal-analoogkonverter
ADC	–	analoog-digitaalkoodmuundur (<i>Analogue-Digital Converter</i>)
c	–	vee erisoojus
CSI	–	kaamera jadaliides (<i>Camera Serial Interface</i>)
DAC	–	digitaal-analoogkoodmuundur
DSI	–	monitori jadaliides (<i>Display Serial Interface</i>)
E_1	–	kiiritustihedus (SP Lite2 horisontaalne)
E_2	–	kiiritustihedus (SP Lite2 päikesekollektori nurga all)
E_3	–	kiiritustihedus (CMP6 horisontaalne)
EEPROM	–	<i>electrically erasable programmable read-only memory</i>
GB	–	andmesalvestuse infoühik (<i>Giga Byte</i>)
GND	–	maandus (<i>Ground</i>)
GPIO	–	tarkvara juhtimise all olevad sisend-väljundkontaktid (<i>General-Purpose Input/Output</i>)
HDMI	–	<i>high definition multimedia interface</i>
L	–	akumulatsioonipaagist kuuma väljuva vee hulk
LAN	–	lokaalvõrk (<i>Local Area Network</i>)
LED	–	valgusdiod (<i>Light Emitting Diode</i>)
MB	–	andmesalvestus infoühik (<i>Mega Byte</i>)
PGA	–	programmeeritav võimendustegur (<i>Programmable Gain Amplifier</i>)
Q	–	vee soojendamiseks kuluv energiahulk
SDRAM	–	sünkroonne dünaamiline muutmälu (<i>Synchronous Dynamic Random-Access Memory</i>)
SK	–	soojuskandja
SPS	–	mõõtmiste arv sekundis (<i>Samples Per Second</i>)
T_1	–	päikesekollektorist saabuva soojuskandja temperatuur ruumis
T_2	–	päikesekollektoris suunduva soojuskandja temperatuur ruumis

T_3	–	akumulatsioonipaagi vee temperatuur 4/4 kõrgusel
T_4	–	akumulatsioonipaagi vee temperatuur 3/4 kõrgusel
T_5	–	akumulatsioonipaagi vee temperatuur 2/4 kõrgusel
T_6	–	akumulatsioonipaagi vee temperatuur 1/4 kõrgusel
T_7	–	akumulatsioonipaagist kuuma väljuva vee temperatuur
T_8	–	külma paaki siseneva vee temperatuur
T_9	–	ruumi temperatuur põrandal
T_{10}	–	ruumi temperatuur lae all
T_{11}	–	kollektori klaasialune temperatuur
T_{12}	–	päikesekollektorist väljuva soojuskandja temperatuur katusel
T_{13}	–	päikesekollektoris siseneva soojuskandja temperatuur katusel
T_{14}	–	välistemperatuur
T_{p1}	–	päikesekollektorist saabuva soojuskandja temperatuur ruumis (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p2}	–	päikesekollektoris suunduva soojuskandja temperatuur ruumis (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p7}	–	akumulatsioonipaagist kuuma väljuva vee temperatuur (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p8}	–	külm vesi paaki (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p10}	–	ruumi temperatuur (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p11}	–	kollektori klaasialune temperatuur (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p12}	–	kollektorist väljuv soojuskandja katusel (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p13}	–	kollektoris sisenev soojuskandja katusel (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{p14}	–	välistemperatuur (PicoLogi mõõtmistulemus)
T_{r12}	–	kollektorist väljuv soojuskandja katusel (RESOL WMZ mõõtmistulemus)
T_{r13}	–	kollektoris sisenev soojuskandja katusel (RESOL WMZ mõõtmistulemus)
USB	–	universaalne järjestiksiin (<i>Universal Serial Bus</i>)
VNC	–	kaugtöölaua ühendus (<i>Virtual Network Computing</i>)
V_{REF}	–	referentspinge

SISSEJUHATUS

Taastuenergia laialdasemaks ja efektiivsemaks kasutamiseks on vaja hästi teada taastuenergiaallikate ja nendelt saadava energia muundamise iseärasusi. Vaadeldavas töös on tähelepanu all päikesekiirgus ja päikeseküttesüsteemi töö iseärasusi registreeriv süsteem. Nii päikesekollektori kui ka päikeseelektripaneelide kasutamise efektiivsuse suurendamiseks on tähtsad pidevad erinevate keskkonnaparameetrite ja energiat muundava süsteemi tööparameetrite mõõtmised. Olulised on need selleks, et uurida, kuidas mõjutavad näiteks päikesepaneeli paigaldusviis ja taeva pilvisus paneeli tootlikkust, võrreldes päikeselt paneeli asukohas horisontaalpinnale langeva energiavooga. Samuti on võimalik mõõtetulemuste abil kindlaks määrata päikeseenergia muundamise kasutegur.

2008. a augustikuus paigaldati Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi laborikorpuse katusele päikeseküttesüsteem TiSUN SWS 2,5W/BE200. Alates 2009. aastast kuni praeguseni on mõõdetud päikeseküttesüsteemi erinevaid tööparameetreid. Peale Tehnikamaja renoveerimist 2012. aastal on päikesekollektori asukoht Tehnikamaja katusel. Aja möödudes on olemasoleva mõõtesüsteemi mitmed andurid töötamise praeguseks hetkeks lõpetanud ning töökindlust on kaotanud kasutatavad signaalimuundurid ning arvuti.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli koostada mikroarvuti baasil paneelile langeva päikesekiirguse ja päikeseenergiat muundava ning koguva süsteemi tööparameetreid mõõtev, registreeriv ning kuvav süsteem. Uus mõõtesüsteem peab võrreldes varasemalt kasutuses oleva süsteemiga olema maksumuselt soodsam, kompaktsem ning omama edasiarendusvõimalusi.

Töö esimeses peatükis kirjeldatakse Eesti Maaülikooli Tehnikamajas kasutatavat päikeseküttesüsteemi. Teises peatükis antakse ülevaade hetkel päikeseküttesüsteemi tööparameetreid mõõtvatest süsteemidest. Kolmandas peatükis kirjeldatakse loodavat mõõtmissüsteemi, valitud komponente ning nende omavahelisi ühendusi. Neljandas peatükis iseloomustatakse mõõtmissüsteemi tarkvaralist lahendust. Viiendas peatükis analüüsitakse saadud mõõtmistulemusi, võrreldakse neid teiste eraldiseisvate mõõtesüsteemide tulemustega, leitakse päikeseküttesüsteemi kasutegur ning kirjeldatakse erinevaid riistvaralisi ning tarkvaralisi probleeme, millega kokku puututi.

1. EESTI MAAÜLIKOOI PÄIKESEKÜTTESÜSTEEM

Eesti Maaülikooli päikesekütte komplekti TiSUN SWS 2,5W/BE200 (joonisel 1.1.) seadmed asuvad alates aastast 2012 Tehnikainstituudi 5. korrusel ning katusel.



Joonis 1.1. Vasakul päikesekollektor, paremal kahe torusoojusvahetiga 200-liitrine soojustatud akumulatsioonipaak BE-SSP ning paagi esipinnal solaarjaam SD25-RD koos kontrolloriga N-DUPLEX.

Päikeseküttesüsteemi koosseisu põhiseadmed [1]:

- tasapinnaline päikesekollektor FM-S, 2160x1180 mm, kogupind 2,55 m²;
- kahe torusoojusvahetiga soojustatud akumulatsioonipaak BE-SSP 200 dm³;
- solaarjaam SD25-RD koos pumbaga Wilo Star ST20/6;
- kahe paagisensori ja kahe välissensoriga elektrooniline temperatuurierinevuste kontrolleri kaheringilistele päikeseküttesüsteemidele N-DUPLEX.

Päikesekollektor on oma tööpõhimõttelt soojusvaheti, mis neelab päikeselt saabuva kiirgusenergia, mille tagajärjel soojeneb kollektorit läbiv soojuskandja. Käesolevas töös uuritakse Eesti Maaülikoolis kasutatavat tasapinnalist päikesekollektorit, mille valgust läbiva ala pindalaks on $2,36 \text{ m}^2$ ning selle all asuva päikest neelava materjali pindalaks $2,25 \text{ m}^2$ [1].

Tasapinnaline plaatkollektor on kaetud läbipaistva klaasiga, mille all on musta värvi kiirgust neelav kiht. Musta värvi päikesekiirgust neelav kiht on kontaktis soojuskandja torudega, mis päikesekiirguse tõttu soojenevad, kandes soojusenergia üle soojuskandjale. [2]

Eesti Maaülikooli katusel asuva päikesekollektori näol on tegemist moodulkollektoriga, mis tähendab, et sellele kollektorile on võimalik juurde monteerida mitu samasugust kollektorit. Seda päikesekollektorit on võimalik paigaldada nii horisontaalselt kui ka vertikaalselt tänu ühendusvõimalustele kõikidel külgedel. FM-S kollektori lumekoormuseks on lubatud 250 kg/m^2 kohta. [1]

Kasutatava akumulatsioonipaagi maht on 200 liitrit ning see on soojustatud isoleervillaga ning kaetud PVC kattega. Akumulatsioonipaagi ülesanne on salvestada päikesekollektorist tulnud soojuskandja soojusenergiat. Akumulatsioonipaak omab kahte torusoojusvahetit, millest ülemine on mõeldud lisakütte ühendamiseks ning alumine päikesekütte. Päikesekütte soojusvaheti pindala on $1,0 \text{ m}^2$ ning lisakütte soojusvaheti pindala $0,8 \text{ m}^2$. [1] Soojuskandja liigub läbi soojusvaheti, andes soojusenergia üle akumulatsioonipaagis olevale madalama temperatuuriga veele.

2. PÄIKESEKÜTTESÜSTEEMI TÖÖPARAMETRITE MÕÕTMINE

2.1. Päikeseküttesüsteemi tööparameetrid

Käesoleva töö raames on mõõdetavad päikeseküttesüsteemi tööparameetrid järgnevad:

- 1) päikesekollektorisse siseneva soojuskandja temperatuur õues;
- 2) päikesekollektorist lahkuva soojuskandja temperatuur õues;
- 3) temperatuur päikesekollektori klaasi all;
- 4) välisõhu temperatuur;
- 5) päikesekollektorisse siseneva soojuskandja temperatuur ruumis;
- 6) päikesekollektorist lahkuva soojuskandja temperatuur ruumis;
- 7) akumulatsioonipaagi paigaldusruumi temperatuur;
- 8) akumulatsioonipaagist väljuva vee temperatuur;
- 9) akumulatsioonipaaki siseneva vee temperatuur;
- 10) temperatuurid akumulatsioonipaagi eri kõrgustel;
- 11) päikese summaarne kiiritustihedus horisontaalsel pinnal W/m^2 ;
- 12) päikese summaarne kiiritustihedus nurga all W/m^2 ;
- 13) akupaagist väljuva vee hulk liitrites.

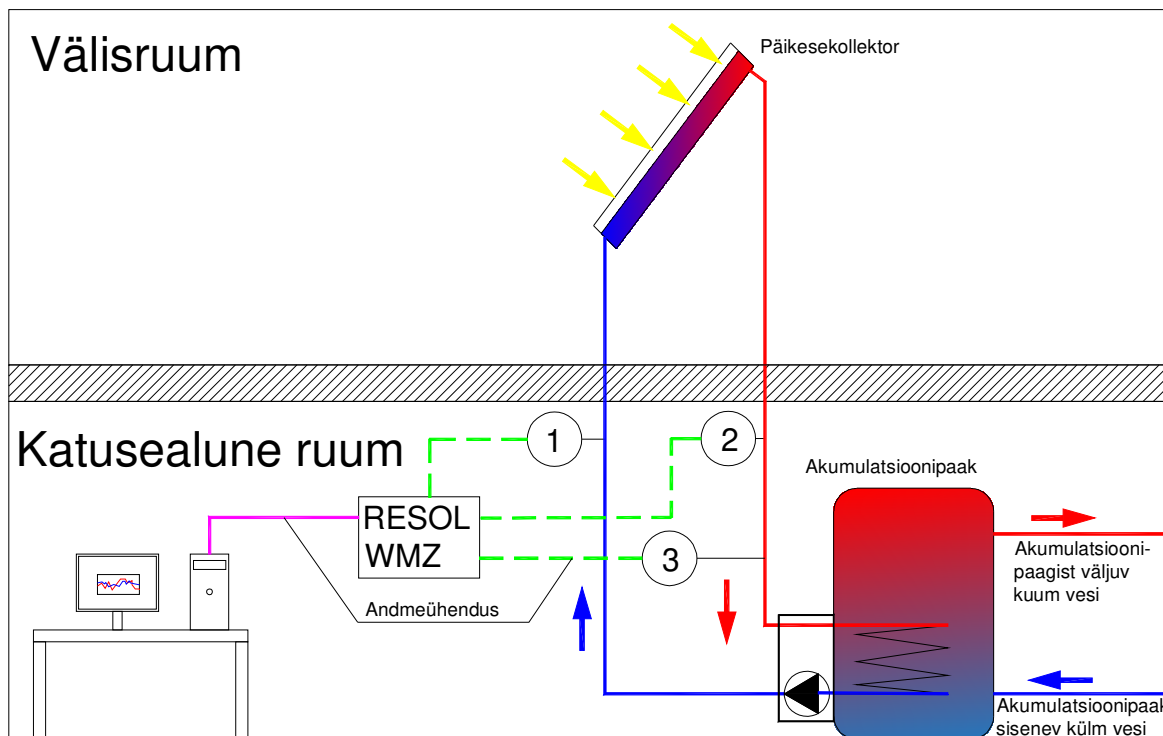
Päikeseküttesüsteemi tööparameetreid mõõdeti enne käesoleva töö koostamist soojusarvesti RESOL WMZ ja signaaluunduri TC-08 baasil arvutipõhise mõõtesüsteemi abil.

2.2. Soojusarvesti RESOL WMZ

RESOL WMZ on universaalne soojusarvesti nii päikeseküttesüsteemidele kui ka tavalistele küttesüsteemidele. Mainitud soojusarvesti võtab arvesse soojuskandja tihedust, erisoojust, soojuskandja temperatuure kollektorisse sisenemisel ja kollektorist väljumisel ning

soojuskandja vooluhulka, mille alusel suudab soojusarvesti leida soojusenergia koguse, mis on kogutud päikesekollektori poolt ja edastatud soojusakumulaatorisse. [3]

Soojusarvesti RESOL WMZ mõõtesüsteemi kirjeldav joonis on esitatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Päikeseküttesüsteemi tööparameetrite mõõtmine soojusarvestiga

RESOL WMZ. 1 – päikesekollektorisse sisenev soojuskandja temperatuur, 2 – päikesekollektorist lahkuv soojuskandja temperatuur, 3 – soojuskandja vooluhulk.

Soojusarvesti RESOL WMZ võtab arvesse soojuskandja temperatuure akumulaatori-
paagist kollektorisse sisenedes ning sealt väljudes. Temperatuuride mõõtmiseks kasutatakse takistustermomeetreid Pt1000. [3]

Takistustermomeetri Pt1000 elektrijuhi takistus sõltub temperatuurist. Temperatuuril 0 °C on anduri takistus 1000 Ω ning temperatuuril 1000 °C on anduri takistus 138,4 Ω. Iga kraadi tõusu või langusega muutub anduri takistus 0,384 Ω. [4]

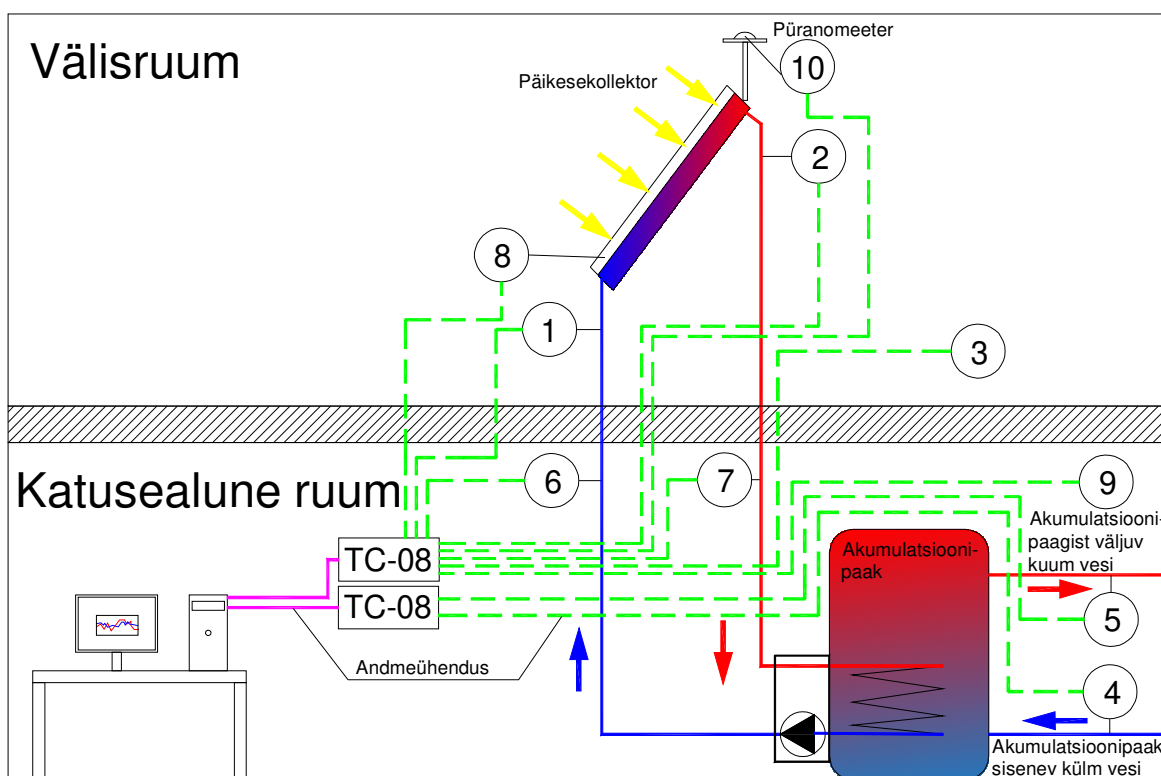
Soojuskandja vooluhulka mõõdetakse vooluhulgamõõtjaga RESOLV40. Kui kindel kogus soojuskandjat on liikunud läbi vooluhulgamõõtja saadab see impulsi RESOL WMZ-i soojusarvestisse. Lugesdes kokku saadetud impulsid, on võimalik kindlaks määrata soojuskandja vooluhulk. Võttes arvesse kasutaja poolt varem sisestatud soojuskandja

tihedust, erisoojust ning mõõdetud temperatuure ja vooluhulka, arvutab soojusarvesti akumulatsioonipaaki salvestunud soojusenergiahulga ja edastab andmed arvutisse. [3]

Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusel asuva päikesekollektori soojusarvesti mõõtetulemusi kuvatakse veebilehel <http://en209.eau.ee/picolog/index.html>.

2.3. Arvutipõhine mõõtesüsteem signaalimuunduri TC-08 baasil

Maaülikooli päikeseküttesüsteemi arvutipõhist mõõtesüsteemi kirjeldav joonis on esitatud joonisel 2.2.



Joonis 2.2. Päikesekollektori tööparameetrite mõõtmise skeem. 1 – päikesekollektoris sisenev soojuskandja, 2 – päikesekollektorist lahkuv soojuskandja, 3 – välisõhu temperatuur, 4 – akumulatsioonipaaki siseneva vee temperatuur, 5 – akumulatsioonipaagist lahkuva vee temperatuur, 6 – päikesekollektoris sisenev soojuskandja ruumis, 7 – päikesekollektorist lahkuv soojuskandja temperatuur ruumis, 8 – päikesekollektori klaasi all olev temperatuur, 9 – ruumi temperatuur, 10 – kiiritustihedus.

Temperatuure mõõdetakse K-tüüpi termopaaridega signaalimuunduri TC-08 abil.

Termopaarid koosnevad kahest erinevast elektrijuhist, mis on omavahel ühises punktis kokku ühendatud (joodetud). Kahe erineva juhtiva materjali kontaktpinnal tekkinud elektromotoorjõud on sõltuvalt juhtide kontaktpinna ning mõõteriistaga ühendatud otste temperatuuride vahega. K-tüüpi termopaar tähendab seda, et üks elektrijuhtidest on kromellist ning teine alumellist. [5]

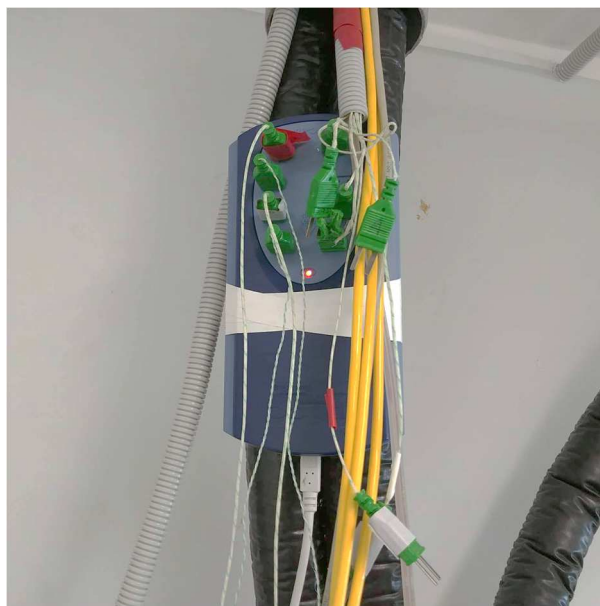
Kirjeldatavas süsteemis on termopaarid ühendatud Pico Technology firma poolt loodud signaaliuunduriga TC-08. Kuna signaaliuundurisse on sisse ehitatud temperatuuriandur, siis on TC-08 võimeline termopaaride otstel tekkinud pinge ümber teisendama temperatuuriks termopaaride ühenduskohas.

Kiiritustihedust mõõdeti (töö kirjutamise hetkeks oli seade lõpetanud adekvaatsete tulemuse andmise) püranomeetri abil, mis oli samuti ühendatud signaaliuunduriga TC-08.

Püranomeetritega mõõdetakse poolsfäärist horisontaalsele pinnale saabuvat summaarset päikeselt pärinevat kiiritustihedust. Summaarne päikeselt pärinev kiiritustihedus koosneb otsesest ja hajusast kiiritustihedusest. [6]

Esialgses mõõtesüsteemis kasutati termopaaride patareid sisaldavat püranomeetrit M-80. Termopaaride patarei põhimõttel töötava püranomeetri tähtsaimad elemendid on termopaaride patarei, mille termopaaride ühed jootekohad asuvad musta kiirgust neelava materjali all, teised otsad valge materjali all, klaasist kuppel ning kere. Klaasist kuppel kaitseb kiirgusele eksponeeritud pindasid mustuse ning tuule eest. Kasutatavat klaasist kuplit läbib päikesekiirgus lainepikkusega 300-3000 nm. Tänu termoelektrilisele efektile tekib temperatuuride vahe tõttu mõõdetav pinge, mis on võrdeline päikese kiiritustihedusega. Iga püranomeetri väljundpinge ja kiiritustiheduse suhe on erinev ning seega tulevad püranomeetrid reeglina tehast kalibreerimislehtedega, kus on kirjas väljundpinge ja kiiritustiheduse suhe. [6,7]

Termopaaride ning püranomeetrite ühendus signaaliuunduriga on näidatud joonisel 2.3.



Joonis 2.3. Termopaaride ühendamine signaalmuunduriga TC-08.

Termopaarid on varustatud „*miniature type*“ pistikutega, mida on võimalik otse ühendada signaalmuunduriga. Signaalmuunduri TC-08 tehnilised andmed on toodud Lisas A.

Mainitud signaalmuunduril TC-08 on kaheksa kanalit, kuhu on võimalik ühendada enamlevinud termopaarid. Kuna andureid on hetkel kasutuses oleval süsteemil rohkem kui kaheksa, siis on kasutatud kahte identset signaalmuundurit. Ühendades arvutiga näiteks 20 signaalmuundurit TC-08, on tootja andmetel võimalik mõõta 160 kanali signaali [8]. Signaalmuundur TC-08 on ühendatud USB-liidese kaudu arvutiga. Arvutis on kasutusel PicoLog tarkvara, mille abil on võimalik lugeda ja salvestada TC-08-ga ühenduses olevate termopaaride temperatuure. Samuti on võimalik kuvada erinevaid graafikuid.

Olemasoleva lahenduse tugevusteks on mitmete erinevate termopaaride tüüpide toetamine, kõrge eraldusvõime (24 bitti) ning tarkvara lihtne kasutamine.

Olemasoleva lahenduse puuduseks võib välja tuua signaalmuunduri TC-08 võrdlemisi kõrget soetamiskulu. Ühe seadme hinnaks on tootja kodulehel märgitud 349 € [8]. Arvestades, et hetkel on mõõtesüsteemis kasutusel kaks TC-08 signaalmuundurit, teeb see pelgalt logerite kogumaksumuseks 698 €. Puuduseks võib tuua ka vähese paindlikkuse, kuna TC-08 on võimeline koguma ainult analoogsignaale. Samuti on süsteemi puuduseks seadme sõltuvus arvuti olemasolust. Signaalmuundur TC-08 peab olema ühendatud arvutiga, et andmete salvestamine ning kuvamine võimalik oleks.

3. UUE MÕÕTESÜSTEEMI ARENDUS

3.1. Eesmärk

Uut mõõtesüsteemi ajendas arendama soov lahti saada vana süsteemi iseloomustavatest puudustest. Uus mõõtesüsteem peab olema võimeline registreerima päikesekiirguse andmeid olemasolevatelt püranomeetritelt, temperatuuriandmeid erinevatelt anduritelt ning veearvesti impulsse. Samuti peab süsteem olema võimeline andmeid salvestama ning esitama neid graafilisel kujul.

Seadmete valikul lähtuti eesmärgist ehitada süsteem, mis oleks võrreldes hetkel kasutuses oleva arvutipõhise mõõtesüsteemiga märgatavalt soodsam, samas loovutamata mõõtetäpsust. Samuti oli seadmete valikut silmas pidades oluline faktor erineva informatsiooni saamine seadmete kohta. Sinna hulka kuuluvad kasutuskogemused foorumitest, õpetused internetiväljaannetest ning kasutusjuhendi detailsus.

3.2. Olemasolevad seadmed

3.2.1. Püranomeetrid SP Lite2 ja CMP6

Töös kasutatavad püranomeetrid SP Lite2 (2 tk) ja CMP6 (joonis 3.1.) on pärit ettevõttelt Kipp&Zonen, mis on üks maailma juhtivaid kiirgusmõõteriistade pakkujaid.



Joonis 3.1. Püranomeeter SP Lite2 vasakul ja CMP6 paremal [9,10]

Töös kasutatavate püranomeetrite olulisemad andmed on esitatud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Töös kasutatavate Kipp&Zonen püranomeetrite põhiandmed. [9,10]

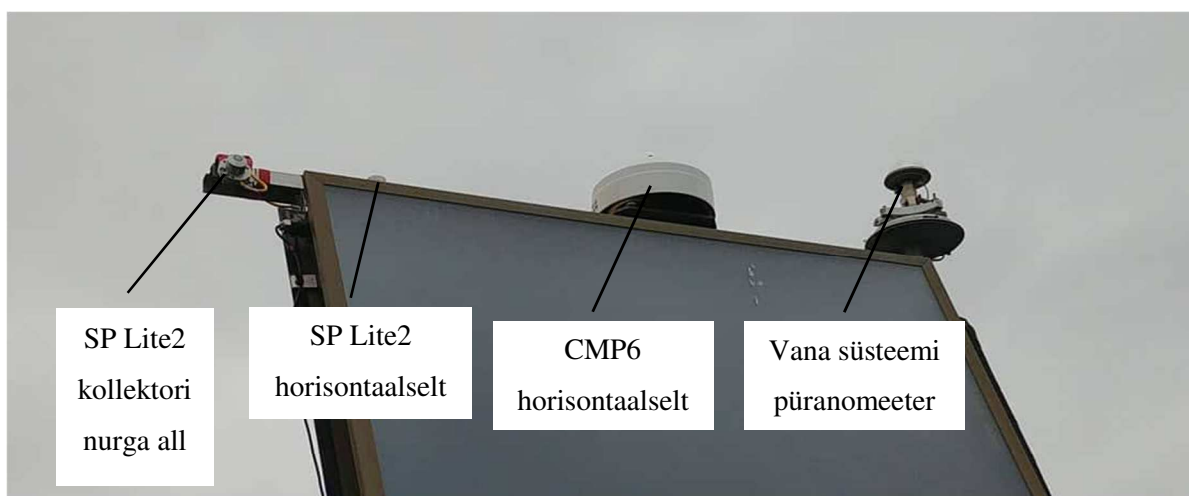
Püranomeeter	Tundlik element	Töotemperatuur °C	Lainepikkus nm	Tundlikkus $\mu V/(W/m^2)$	Standard
SP Lite2	Fotodiod	-40...80 °C	400...1100	73,1	-
SP Lite2				61,7	
CMP6	Termopaaride patarei		285...2800	14,91	ISO 9060 First Class

Püranomeeter SP Lite2 on mõeldud üldotstarbelisteks päikese kiiritustiheduse mõõtmisteks (põllumajandus, hüdroloogia, hoonete automaatika), kus oluline on madal maksumus ja mõõtetulemuste kvaliteedile rangeid nõudmisi ei esitata. Püranomeetri SP Lite2 tundlikuks elemendiks on fotodiod, mille väljundsignaal on võrdeline päikese kiiritustihedusega. Püranomeetri SP Lite2 täpsemad tehnilised andmed on toodud Lisas B. [9]

Püranomeetrit CMP6 kasutatakse täppismõõtmistes. Püranomeetri CMP6 tundlikuks elemendiks on termopaaride patarei. Püranomeetri CMP6 täpsemad tehnilised andmed on toodud lisas C. [10]

Käesoleval hetkel toimuvad samuti eraldiseisvad päikese kiirguse mõõtmised Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi katusel Davis Vantage Pro2 ilmajaamaga. Antud ilmajaama kiiritustiheduse anduri tundlikuks elemendiks on sarnaselt SP Lite2 püranomeetrile fotodiod. Sarnaselt SP Lite2 püranomeetrile, mõõdetakse ka ilmajaamaga päikese kiiritustihedust lainepikkustel 400...1100 nm. [11]

Käesoleval hetkel asuvad püranomeetrid päikese kollektori peal eraldi raamil (joonis 3.2).

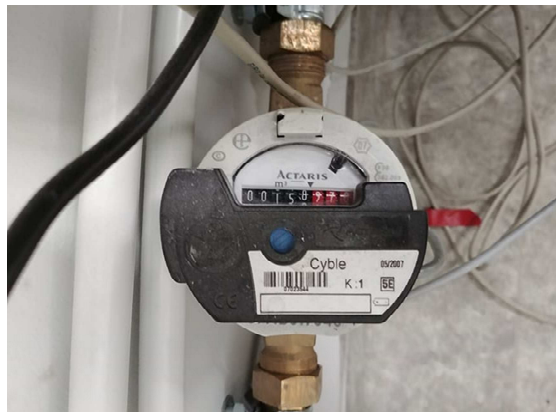


Joonis 3.2. Püranomeetrite asukoht päikese kollektori raamil

Püranomeeter SP Lite2 (1tk) ja CMP6 on paigutatud maapinna suhtes horisontaalselt ning üks püranomeeter SP Lite2 on paigaldatud maapinna suhtes sama nurga all, mis päikesekollektorigi. Jooniselt 3.2 on visuaalselt hästi näha eri tüüpi püranomeetrite mõõtude erinevus.

3.2.2. Veearvesti sensoriplokk Cyble

Akumulatsioonipaagist väljuva veehulga mõõtmiseks oli varem paigaldatud veekulumõõtja Actaris ning sellele sensoriplokk Cyble (joonis 3.3.), mille väljundsignaale varem ei salvestatud.



Joonis 3.3. Veearvesti Actaris koos sensoriplokiga Cyble

Veearvesti sensoriplokk on varustatud viie soonelise kaabliga, millest käesolevas töös kasutatakse kahte viiku. Käesoleval juhul ühendati veearvesti valge ning pruun juhe vastavalt Raspberry Pi GPIO2 ning maanduse viiguga. Iga kord kui läbi veekulumõõtja liigub üks liiter vett, suleb veearvesti kontaktid ning Raspberry Pi-le edastatakse impulss.

3.3. Valitud seadmed

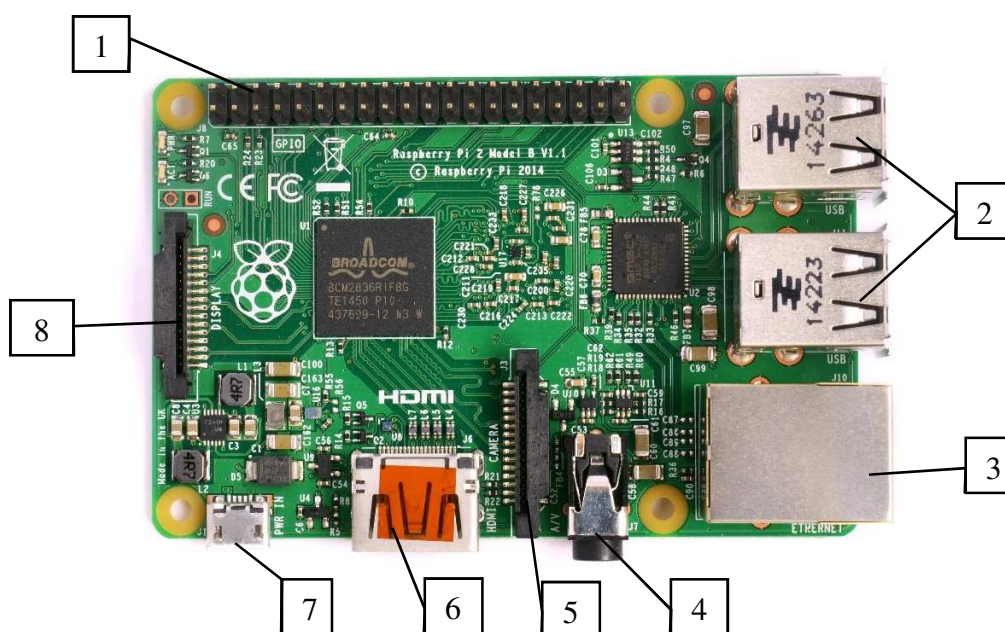
3.3.1. Raspberry Pi 2 Model b

Mõõtesüsteemi juhtseadmeks ja andmesalvestiks on valitud Raspberry Pi 2 mudel B V1.1. Raspberry Pi on madala soetusmaksimumusega visiitkaardi suurune arvuti, mida on võimalik

sarnaselt tavalisele personaalarvutile ühendada monitori, klaviatuuri ning hiirega. Raspberry Pi-d hakati esmalt valmistama selleks, et tekitada lastes huvi programmeerimise vastu. Raspberry Pi suudab jooksutada mitmeid erinevaid operatsioonisüsteeme, alustades Raspbianist ning lõpetades Windows 10 IoT-ga, erinedes sellega mõningatest teistest sarnase võimekuse ning maksumusega plaatidest. [12]

Raspberry Pi on osutunud ülemaailmselt äärmiselt populaarseks ning 2017. a seisuga on müüdud 17 miljonit erinevat Raspberry Pi mudelit [13].

Joonisel 3.4 on esitatud Raspberry Pi Model 2b v1.1. [12]



Joonis 3.4. Raspberry Pi Model 2b v1.1: 1 – GPIO viigud (kokku 40 tk), 2 – USB ühenduspistikud (kokku 4 tk), 3 – ETHERNET võrguühenduspistik, 4 - audio ühenduspistik, 5 – kaamera jadaliides, 6 – HDMI ühendus, 7 – microUSB toite pistik, 8 – monitori jadaliides [12]

Raspberry Pi on muutnud eriliseks just see, et väikesele alale on mahutatud enimlevinud ühendusvõimalused nagu USB, HDMI, ETHERNET. Samuti on Raspberry Pi kasutajate ümber tekkinud erinevad kogukonnad, kus levitatakse kasutajate poolt tehtud erinevaid projekte.

Tabelis 3.2. on esitatud Raspberry Pi 2 mudel B V1.1 põhilised tehnilised andmed.

Tabel 3.2. Raspberry Pi model B V1.1 põhilised tehnilised andmed [12]

Kiibistik	Protsessor	Vahemälu	Andmesalvestus	Ethernet kiirus	Video väljund	Audio väljund
BCM2836	Quad Cortex A7 900 MHz	1 GB SDRAM	micro SD kaardile	10/100 Mbit	HDMI / komposiit	HDMI / 3,5mm audio

Olulisematest Raspberry Pi model B V1.1 parameetritest tuleks välja tuua neljatuumaline protsessor, mis töötab taktsagedusel 900 MHz ning on vajadusel ülekiirendatav. Loodud mõõtesüsteemis vajalike protsesside jooksutamiseks ülekiirendamiseks vajadust ei nähtud ning piirduti baastaktsagedusega.

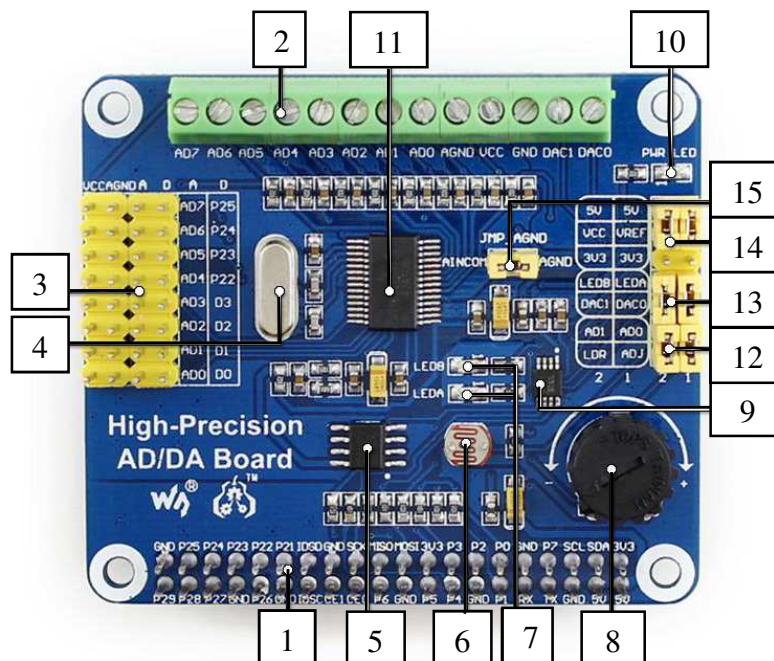
Raspberry Pi-l on 1 GB vahemälu. Kui jooksutati kõiki mõõtmisprogramme, siis oli Raspberry Pi mälukasutus ligikaudu 170 MB ehk teoreetiliselt oli ca 830 MB vahemälu vaba.

Andmeid salvestatakse micro-SD kaardile, täpsemalt Kingston microSDHC klass 10 kaardile teoreetilise mahutavusega 16 GB. Klass 10 tähendab, et on tagatud mälukaardi minimaalne andmesalvestuskiirus 10 MB/s [14]. Käesolevas projektis Raspberry Pi mõõtesüsteemina salvestab iga päev mõõtmistulemusi mahus ca 7 MB. Sellest võib järeldada, et mälukaardi andmesalvestuskiirus ning andmesalvestusmaht on piisav.

Raspberry Pi mudel B V1.1 võrguühenduse teoreetiline maksimaalne andmeedastuskiirus on 100 Mb sekundis.

3.3.2. Waveshare AD/DA Board

Loodav mõõtesüsteem peab olema võimeline mõõtma püranomeetritelt pärinevaid analoogsignaale. Kuna Raspberry Pi ei ole otse võimeline lugema analoogsignaale, tuli see võimekus luua lisaseadmega. Lisaseadmeks valiti Waveshare'i poolt loodud High-Precision AD/DA Board (joonis 3.5.).



Joonis 3.5. Waveshare AD/DA laiendusplaat. 1 – Raspberry Pi GPIO

sisend/väljundviigud; 2 – AD/DA sisend/väljund: kruvi klemmid; 3 – AD sisend: sisend/väljundviigud, ühildatav Waveshare´i anduritega; 4 – 7.68M kristallist ostsillaator
5 – LM285-2.5: varustab referentspinget ADC kiibile; 6 – Fototakisti; 7 – LED indikaatorid; 8 – 10 K potentsiomeeter; 9 – DAC8552: 16 bit digitaal-analoogkood muundur, 2 kanalit; 10 – Toite indikaator; 11 – ADS1256: 24 bit , 8 kanalit (4 kanalit diferentsiaalpinge mõõtmiseks); 12 – ADC katsetamise viigud; 13 – DAC katsetamise viigud; 14 – ADC toitepinge valimise viigud; 15 – ADC referentspinge viigud [15]

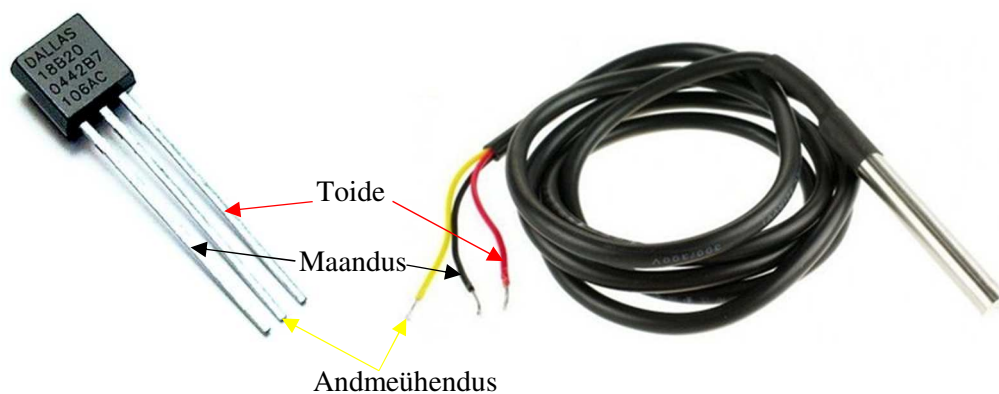
Antud laiendusplaat on paigaldatud otse Raspberry Pi peale, ühendades Raspberry Pi sisend/väljundviigud laiendusplaadiga. Laiendusplaat omab analoogsisendite ühendamiseks kruviklemme ning ka eraldi viike, mis on mõeldud kasutamiseks Waveshare´i enda anduritega. Kristallist ostsillaatori abil luuakse ADC kiibile taksagedus. LM285-2.5 on pingeregulaator, millega varustatakse ADC-kiibile referentspinge. Plaadil leidub ka fototakisti, mis olenevalt valgustugevusest väljastab pinge signaali. Antud fototakisti eesmärk laiendusplaadil on põhiliselt ADC katsetamine. Kui DAC katsetamise viigud on ühendatud, siis DAC-kiibi töötamisel süttivad vastavad LED indikaatorid. Laiendusplaat on samuti varustatud 10 K potentsiomeetriga. Laiendusplaadil on samuti LED indikaator, mis teatab laiendusplaadi toite olemasolust.

Käesoleva töö mõistes kõige olulisem osa antud laiendusplaadi osas on analoog-digitaalkoodmuundur ADS1256. Antud ADC tehnilised andmed on toodud lisas D [16].

ADC ADS1256 analoogsisendite mõõtepiirkond on $\pm 2V_{REF}/PGA$. Kuna pingeregulaatori LM285-2.5 väljundpinge on 2,5 V [17], teame, et antud seadme analoogsisendite mõõtelaius on $\pm 2 \cdot 2,5/PGA$. Programmeeritav võimendustegur ehk PGA võib antud ADC-l olla 1-st kuni 64-ni. Võimendusteguritega 1 ja 64 on mõõtevahemik vastavalt 5 V ning 0,078125 V. Seadme ADS1256 eraldusvõime on 24 bitti, mis tähendab, et mõõtevahemikus 5 V on mõõtmise samm $5/(2^{24}-1)$ ehk 0,298 μV . [16]

3.3.3. Temperatuuriandur DS18B20

Temperatuuri mõõtmiseks valiti digitaalne temperatuuriandur DS18B20 (joonis 3.6.).



Joonis 3.6. Temperatuuriandur DS18B20. Vasakul temperatuuriandur TO-92 kestadega, paremal veekindla ümbrisega. [18,19]

Temperatuurimõõtmistel kasutati kahte erinevat anduri kesta. Ruumis kasutati mõõtmisteks joonisel 3.6 vasakul pool nähtavat anduri kesta TO-92. Välises keskkonnas kasutati joonisel 3.6 paremal pool nähtavat tehases eelnevalt veekindlaks tehtud temperatuuriandurit DS18B20.

Temperatuurianduril DS18B20 on 3 viiku, milleks on maandus, andmeühendus ning toide. Temperatuurianduri toitepinge on +3...5,5 V. Anduri mõõtevahemik on -55...125 °C. Temperatuuridel -10...+85 °C on mõõteviga $\pm 0,5$ °C. Anduri mõõtetäpsus on 9...12 bitti. Anduri mõõtetäpsust on võimalik programmeerida läbi EEPROM-i. Anduri tehases tulles on mõõtetäpsus üldiselt 12 bitti, kuid kui on soov anduri mõõtekiirust (12 bitise eraldusvõime korral on mõõtmise samm 750 ms) suurendada, siis tuleb mõõtetäpsust vähendada. Teades, et anduri mõõtevahemik on 180 K ning anduri resolutsioon 12 bitti,

saame leida anduri sammu, milleks on $180/2^{12}$ mis teeb tulemuseks $0,0439\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatuuriandur DS18B20 suhtleb üle *1-Wire* protokoll. Iga DS18B20 temperatuuriandur omab unikaalset 64-bitist seeriakoodi, mis võimaldab mitme erineva DS18B20 kasutamist ühel kanalil. [20]

1-Wire protokoll oli algselt mõeldud lühikeste liinide jaoks, kuid aja möödudes on kasutajad hakanud antud tehnoloogiat proovile panema ning saavutatud on väga häid tulemusi ka pikkade liinide kasutamisel. Kasutades õigeid meetodeid, on võimalik anduritega mõõta ning tulemusi saada enam kui 500 m kauguselt. [21]

3.3.4. Moodulkilp 3M IP65 Legrand

Süsteemi kaablite kogupikkuse vähendamiseks ning temperatuuriandurite mugavamaks ühendamiseks välises keskkonnas otsustati päikesekollektori alusraami külge paigaldada moodulkilp (joonis 3.7), millesse paigaldati klemmid ühenduste tegemiseks.



Joonis 3.7. Moodulkilp 3M IP65 Legrand vasakul ja paremal klemmid DIN liistule [22,23]

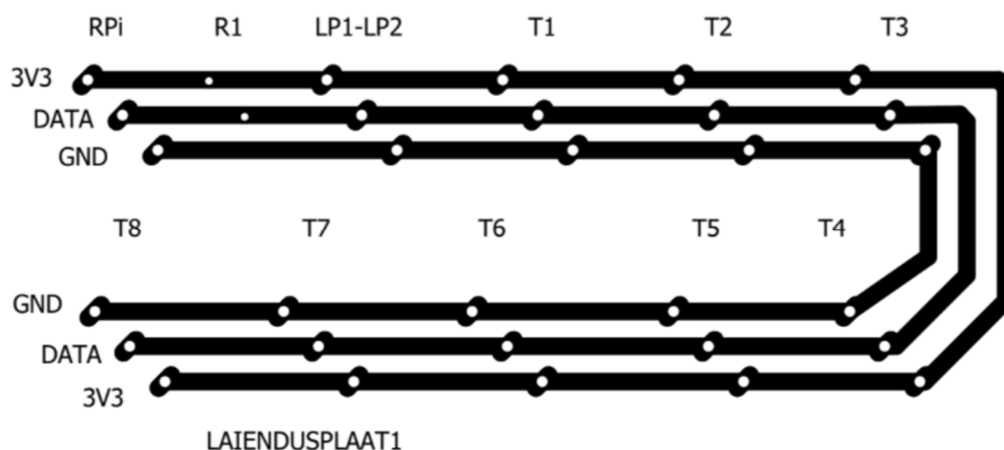
Moodulkilbi kaitseklass on IP65 (*International Protection marking*). Esimene number iseloomustab kaitset tahkete osakeste vastu. Võimalikud väärtused on 0-st kuni 6-ni, alates „kaitse puudub“ kuni „tolmukindel“. Käesoleva moodulkilbi kaitse tahkete osade vastu on 6, ehk tolmu vastu kaitstud. Teine number iseloomustab kilbi kaitset vedelike vastu. Võimalikud väärtused on 0-st kuni 9k-ni ehk „kaitse puudub“ kuni „kaitse lähedalt lastavate

kõrge surve ja temperatuuriga veejugadele“. Kasutatud moodulkilbi veekindlus on 5, mis tähendab kaitset madala survega veejugade vastu kõigist suundadest. [24]

Moodulkilpi paigaldati kolm paari klemmliiste (joonisel 3.7 paremal), igale temperatuurianduri viigule üks, millega temperatuuriandureid ühendada.

3.4. Valmistatud lisaplaat

Temperatuuriandurite kompaktsemaks ning töökindlamaks ühendamiseks koostati lisaks laiendusplaat. Laiendusplaat koostati tudengitele vabalt kättesaadavas tarkvaras Eagle 8.0. Kujundatud laiendusplaadi ühenduste paigutus on esitatud joonisel 3.8.



Joonis 3.8. Laiendusplaat temperatuurianduritele

Plaadi põhimõte on ehituselt lihtne. Plaadil on kolm erinevat rada, pinge 3,3 V, andmete rada, mille pinge on kas 0 või 3,3 V, ning maandus, mille pinge on alati 0 V. Tänu sellele, et mitut temperatuuriandurit DS18B20 on võimalik ühendada ühe andmekanaliga, on lihtsal viisil skeemi valmistamine võimalik.

Eagle 8.0 keskkonnas kujundatud skeem trükiti fotopaberile ning seejärel kanti triikrauda kasutades trükivärv termiliselt makettplaadile. Trükivärv kandus kuumuse tagajärjel makettplaadile, seejärel söövitati üleliigne vask plaadilt ära ning alles jäi ainult vasekiht tahma all. Laiendusplaadile joodeti kruviklemmid (3-kohalised, 10 tk) ning üks takistus (3,0 k Ω). Samuti joodeti tinaga üle kõik vasest rajad lisaplaadi töökindluse tõstmiseks.

3.5. Seadmete spetsifikatsioon

Tabelis 3.3. on esitatud loodud süsteemi seadmete spetsifikatsioon.

Tabel 3.3. Seadmete spetsifikatsioon [22-23,25-36]

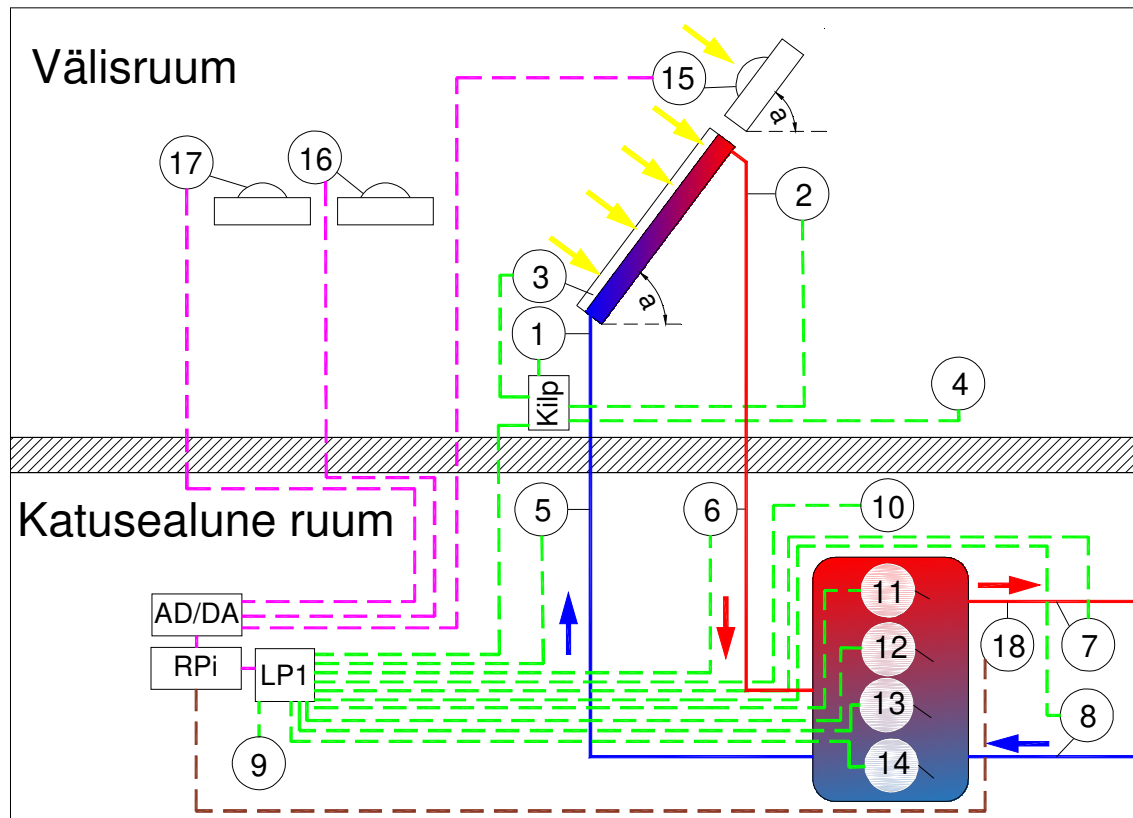
Nimetus	Arv	Ühik	Ühiku hind, €	Hind, €
(olemasolev) SP Lite2	2	Tk	448 [25]	896
(olemasolev) CMP6	1	Tk	1496 [26]	1496
(olemasolev) Cyble sensorplokk	1	Tk	59 [27]	59
Raspberry Pi 2b v1.1	1	Tk	44,90 [28]	44,90
Kingston microSDHC kaart 16 GB klass 10	1	Tk	6,17 [29]	6,17
Waveshare AD/DA Board	1	Tk	48 [30]	48
Internetikaabel CAT5E UTP	50	Jm	0,47 [31]	23,5
Temperatuuriandur DS18B20 (TO-92)	10	Tk	3,50 [32]	35
Temperatuuriandur DS18B20 (Veekindel)	4	Tk	4,50 [33]	18
Trükkplaat	1	Tk	5 [34]	5
Kruviklemmid	10	Tk	0,30 [35]	3
Takisti, 3,0 kΩ	1	Tk	0,20 [36]	0,2
Klemmliistud DIN	3	Tk	2,80 [23]	8,4
Moodulkilp LEGRAND 4M IP65	1	Tk	13,20 [22]	13,20
			Kokku	2656,37
			Kokku ilma olemasolevate seadmeteta	205,37

Süsteemi kogumaksumuseks saadi 2656,37 €. Kui arvestada süsteemi hinda ilma olemasolevate seadmeteta, siis on mõõtesüsteemi maksumus 205,37 €. Tabelisse pole lisatud kõigi seadmete koguseid, mis kulusid trükkplaadi valmistamiseks, nagu näiteks jootmiseks kulunud tina, plaadi söövitamiseks kulunud pulber. Mainitud koguseid on keeruline täpselt hinnata ning võib arvata, et nende osatähtsus kogu süsteemi maksumuses on kaduvväike.

Kiiritustiheduse mõõtmisteks piisab andmesalvesti valmistamiseks kolmest seadmest, Raspberry Pi 2b v1.1-st, mälukaardist ning Waveshare AD/DA Boardist. Antud seadmete kogumaksumus on 99,07 €. Töö autor võttis hinnapakumise Kipp&Zonen-ilt nende andmesalvesti LogBox SE kohta, mis on mõeldud püranomeetrite mõõtetulemuste salvestamiseks. Hinnapakumine oli summale 1620 € + käibemaks.

3.6. Seadmete ühendamine

Joonisel 3.9 on esitatud päikeseküttesüsteemi tööparameetrite mõõtmise põhimõtte skeem.

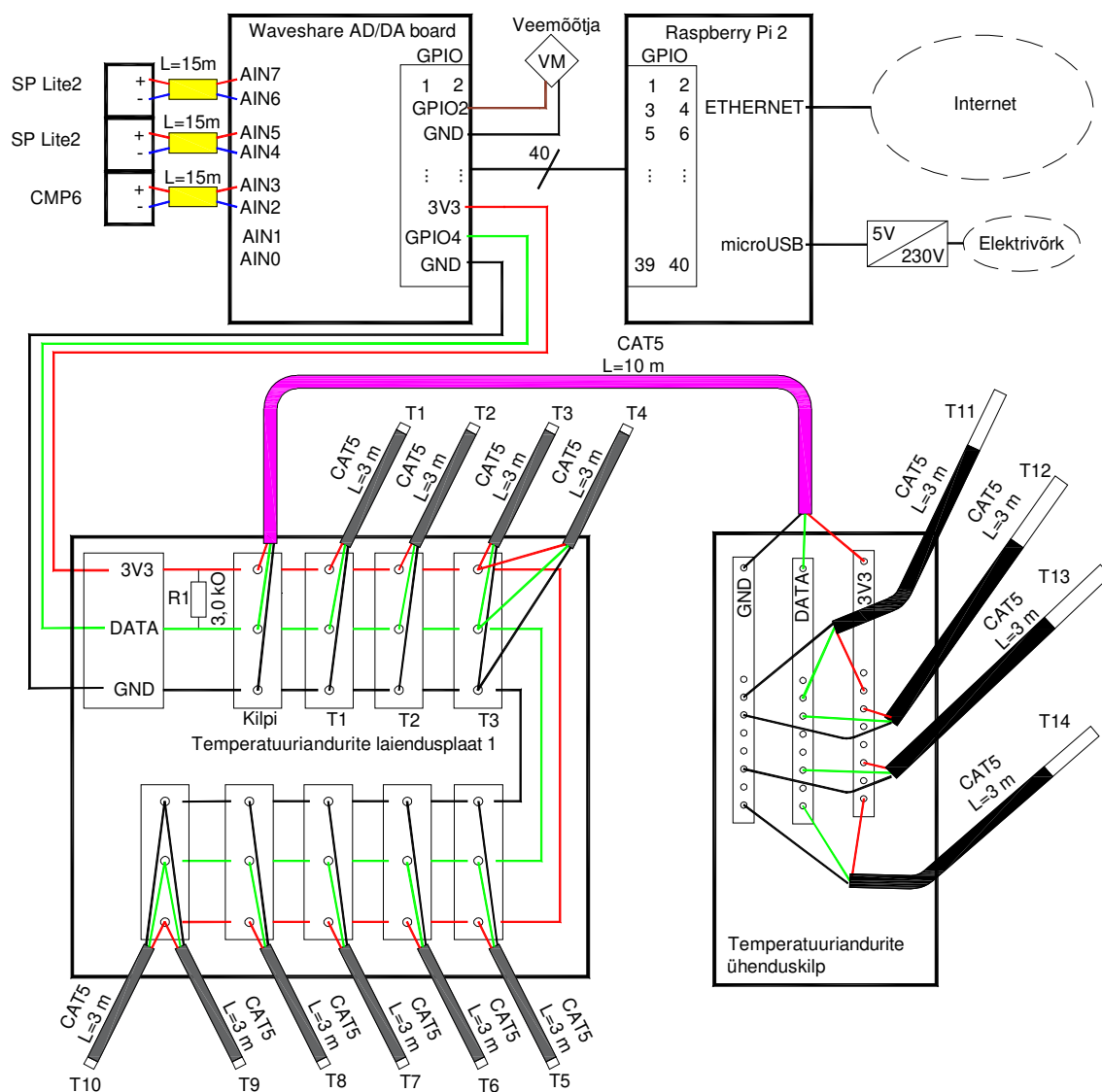


Joonis 3.9. Päikeseküttesüsteemi tööparameetrite mõõtmise skeem:

1 – päikesekollektoris siseneva soojuskandja temperatuur õues, 2 – päikesekollektorist lahkuva soojuskandja temperatuur õues, 3 – päikesekollektori klaasialune temperatuur, 4 – välisõhu temperatuur, 5 – päikesekollektoris siseneva soojuskandja temperatuur ruumis, 6 – päikesekollektorist lahkuva soojuskandja temperatuur ruumis, 7 – kumulatsioonipaagist lahkuva sooja vee temperatuur, 8 – akumulatsioonipaaki suunduva külma vee temperatuur, 9 – ruumi temperatuur põranda lähedal, 10 – ruumi temperatuur lae all, 11 – akumulatsioonipaagi vee temperatuur 4/4 kõrgusel paagi ülemises osas, 12 – akumulatsioonipaagi vee temperatuur 3/4 kõrgusel paagi keskmises osas, 13 – akumulatsioonipaagi vee temperatuur kõrgusel 2/4 paagi keskmises osas, 14 – akumulatsioonipaagi vee temperatuur 1/4 kõrgusel alumises osas, 15 – päikese kiiritustihedus paneeli pinnal (SP Lite2), 16 – päikese kiiritustihedus horisontaalpinnal (SP Lite2), 17 – horisontaalne kiiritustihedus (CMP6), 18 – akumulatsioonipaagist väljuva vee hulk.

Kokku mõõdetakse päikeseküttesüsteemis kolme päikeselt pärinevat kiiritustihedust, 14 temperatuuri ning ühte akumulatsioonipaagist väljuva veehulga väärtust. Kaks püranomeetrit (üks SP Lite2 ja CMP6) on paigaldatud maapinna suhtes horisontaalselt. Kolmas püranomeeter (teine SP Lite2) on paigaldatud nurga all (päikesekollektori nurk). Võrreldes vana arvutipõhise mõõtesüsteemiga mõõdetakse nüüd ka akumulatsioonipaagi veetemperatureid ning akumulatsioonipaagist väljuva vee hulka.

Seadmete ühendusskeem on esitatud joonisel 3.10.



Joonis 3.10. Seadmete ühendusskeem

Loodud mõõtesüsteemis kasutatakse Raspberry Pi-l vaid ETHERNET, GPIO ning microUSB ühendusi. ETHERNET-ühenduse kaudu ühendatakse Raspberry Pi ülikooli

sisevõrguga. GPIO-de kaudu ühendatakse Raspberry'ga temperatuuriandurid, laiendusplaat Waveshare AD/DA Board ning veearvesti sensorplokki Cyble. Raspberry Pi ühendati vooluvõrguga microUSB kaudu.

Laiendusplaat Waveshare AD/DA Board ühendati Raspberry Pi 2-ga, kasutades GPIO viike. Laiendusplaadil kasutatakse analoog-digitaalkoodmuunduri ADS1256 võimet mõõta diferentsiaalpinget.

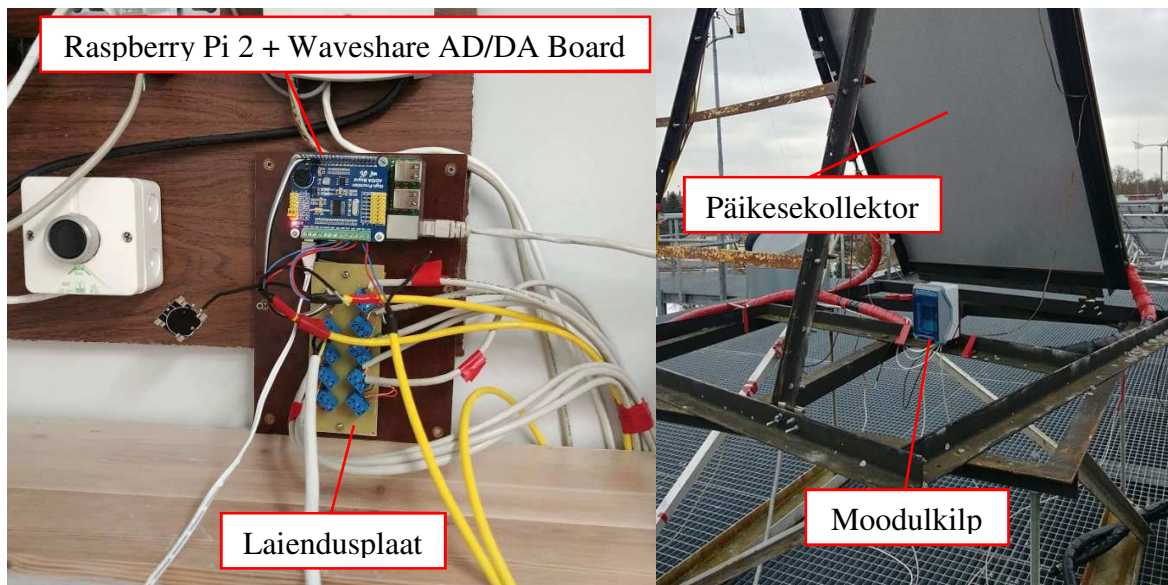
Püranomeetrid saavad tehasest koos ilmastikukindlate 15-meetriste kolmesooneliste signaalikaablitega. Püranomeetrist väljuva kaabli viigud on väljundsignaali pluss, miinus ja kesta maandus. Vaatlusaluses ühendusskeemis ühendati ainult pluss ja miinus. Püranomeetri väljundkaabli pluss ja miinus on ühendatud kõrvuti asuvate Waveshare AD/DA Board laiendusplaadi analoogsisenditega.

Töö autori poolt valmistatud laiendusplaadi toite- (3V3), andme- (GPIO4) ja maandus- (GND) viigud ühendati laiendusplaadil Waveshare AD/DA Board-il välja toodud Raspberry Pi vastavate GPIO viikudega. Töö autori poolt valmistatud laiendusplaadil on andurite jaoks kruviklemmid, kuhu temperatuuriandurite kaablid ühendati.

Kõik siseruumis kasutatud andurid (ühendatud „Temperatuuriandurite laiendusplaat 1“-ga) on ühendatud läbi ca 3-meetrise CAT5 internetikaabli. Kaabli valikul tugineti *1-Wire* protokollitootjate soovitudele [21]. Kuna ühenduste tegemisel selgus, et tarvis võib olla mõõta rohkem temperatuure kui algselt arvati, siis ühendati ühe kruviklemmi alla mitu temperatuuriandurit. Laiendusplaadist suundub ca 10-meetrine internetikaabel CAT5 katusele temperatuuriandurite ühenduskilpi. Kilbis on kolm klemmliistu, millest igaüks vastab ühele temperatuurianduri viigule. Temperatuuriandurite kaabli sooned ühendati vastavalt joonisele 3.10 vastavate klemmliistudega.

Veearvesti impulsside lugemiseks ühendati arvesti signaalkaabli pruun signaaljuhe GPIO2-ga ning must maandusjuhe Raspberry Pi GND-ga. Iga kord kui veemõõtjast liigub läbi üks liiter vett, suleb veearvesti kontaktid ning annab Raspberry Pi GPIO-le impulsi.

Joonisel 3.11 on esitatud seadmete paiknemine ruumis ning moodulkilbi paiknemine katusel.



Joonis 3.11. Seadmete paiknemine ruumis (vasakul) ning katusel (paremal)

Raspberry Pi koos laiendusplaadiga WaveShare AD/DA Board ning töö autori poolt valmistatud laiendusplaat kinnitati kruvidega eraldi alusplaadile, mis omakorda kinnitati seinal asuvale olemasolevale puitplaadile. Temperatuuriandurite kaabli sooned on kinnitatud laiendusplaadil asuvate kruviklemmide külge. Püranomeetrite kaabli sooned on kinnitatud laiendusplaadi WaveShare AD/DA Board kruviklemmide külge.

Moodulkilp paigaldati samuti kruvidega eraldiseisvale alusele. Alus omakorda paigaldati kruvidega päikesekollektori metallkonstruktsiooni külge.

4. RASPBERRY PI HÄÄLESTUS

4.1. Raspberry Pi seadistamine

Käesolevas töös läbi viidud peamised Raspberry Pi eelhäälestamise protsessid olid järgnevad:

- 1) Raspbian operatsioonisüsteemi installeerimine [37];
- 2) VNC Server installeerimine [38];
- 3) Temperatuuriandurite lugemise võimekuse tekitamiseks W1thermsensor installeerimine ning Raspberry Pi konfiguratsiooni faili muutmine [39];
- 4) Laiendusplaadi kasutamise võimekuse loomine WiringPi teekide installeerimisega ning PiPyADC klasside kopeerimisega [40];
- 5) Veehulga lugemise võimekuse tekitamine PiGPIO installeerimisega [41];
- 6) Apache2 ja PHP5 installeerimine veebiserveri ülesseadmiseks [42].

Järgnevates peatükkides kirjeldatakse lühidalt Raspberry Pi häälestamiseks läbi viidud tegevusi.

4.2. Operatsioonisüsteemi Raspbian installeerimine

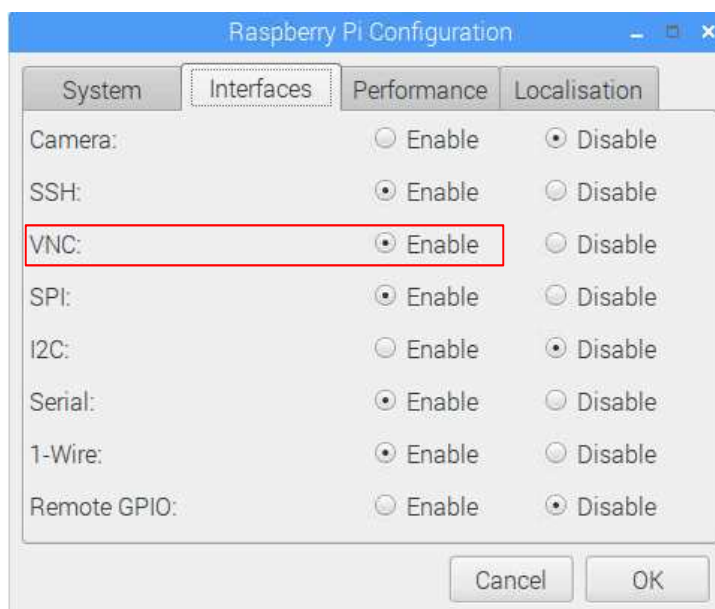
Operatsioonisüsteemi Raspbian installeerides jälgiti Raspberry Pi kodulehel asuvat kasutusjuhendit. [37]

Raspbian on Raspberry Pi loojate poolt ametlikult soovitatud operatsioonisüsteem, mis põhineb operatsioonisüsteemil Debian. Raspbian on aktiivses arenduses ning Raspberry Pi kodulehelt tasuta allalaaditav. Allalaaditud Raspbian .zip failist eraldatud operatsioonisüsteem kopeeriti SD-kaardile programmiga Etcher. Kui SD-kaart oli seadistatud, võis SD-kaardi sisestada Raspberry Pi SD-kaardi pesasse. Seejärel lülitati Raspberry Pi sisse, misjärel Raspberry Pi käivitas vajalikud häälestusprotsessid, et Raspberry Pi oleks valmis kasutamiseks.

4.3. Kaughaldustarkvara VNC Server installeerimine

Raspberry Pi-le kaughalduse võimekuse tekitamiseks installeeriti Raspberry Pi-le VNC Server. Kuna Raspberry Pi asub püsivalt Eesti Maaülikooli Tehnikamajas, oli pideva ligipääsu tekitamiseks mõistlik tekitada kaugtöö võimalus üle välisvõrgu.

VNC Serverit installeerides jälgiti Raspberry Pi kodulehel olevaid VNC Serveri installeerimise juhiseid [38]. Raspberry Pi VNC ühenduste lubamiseks muudeti sätete faili. Sätete muutmiseks valiti: *Menu > Preferences > Raspberry Pi Configuration > Interfaces*. Järgnevalt on näha Raspberry Pi erinevaid ühendusvõimalusi (joonis 4.1.)



Joonis 4.1. Raspberry Pi erinevad ühendusvõimalused

VNC ühenduste lubamiseks aktiveeriti „VNC“ taga olev nupp „Enable“. VNC Serveri installeerimiseks kirjutati käsureale järgnev:

```
sudo apt-get install realvnc-vnc-server
```

VNC Server on loodud seadmete kaugjuhtimiseks. Tänu VNC Serverile oli võimalik Raspberry Pi-ga ühenduda üle välisvõrgu. VNC Server kasutab Cloud-ühendust ehk Raspberry Pi-ga ühendatav seade ei pea asuma samas võrgus, kus asub Raspberry Pi. Tänu mugavale ühendusvõimalusele polnud tarvis Raspberry Pi-ga ühendada ka muid sisend-väljundseadmeid nagu eraldiseisev monitor, hiir ning klaviatuur.

4.4. Temperatuuriandurite lugemise võimekuse tekitamine

Temperatuuriandurite lugemise võimekuse tekitamiseks jälgiti Timo Furreri poolt loodud tarkvarateegi W1thermsensor kasutamise juhiseid [39].

Selleks, et Raspberry Pi tunneks ära *1-Wire* protokolliga ühendatud temperatuuriandurid, kirjutati Raspberry Pi sätete faili (/boot/config.txt) järgnev rida:

```
dtoverlay=w1-gpio
```

Vastava rea lisamisega sätete faili tunneb Raspberry Pi ära kõik korrektselt GPIO4 viiku ühendatud temperatuuriandurid. Tarkvarateegi W1thermsensor installeerimiseks Raspbianis kirjutati käsureale järgnev rida:

```
sudo apt-get install python3-w1thermsensor
```

Käsu kirjutamise järel installeeriti W1thermsensori teek Python 3-le.

4.5. Laiendusplaadi Waveshare AD/DA Boardi kasutamise võimekuse tekitamine

Waveshare AD/DA Board-i kasutamiseks jälgiti Ulrich Lukase poolt loodud Pythoni tarkvarateegi PiPyADC kasutamise juhendit [40]. PiPyADC Pythoni teekide kopeerimiseks Raspberry Pi-le kirjutati käsureale järgnev:

```
git clone https://github.com/ul-gh/PiPyADC
```

Antud käsu kirjutamisega kopeeriti PiPyADC Pythoni programmikoodid Raspberry Pi kataloogi /home/Pi/.

Tarkvarateegi PiPyADC töötamiseks vajaliku WiringPi installeerimiseks kirjutati käsureale:

```
sudo pip install wiringpi
```

Läbitud toimingutega loodi esmased tingimused Waveshare AD/DA Boardi kasutamiseks.

4.6. Veearvesti impulsside lugemise võimekuse tekitamine

Raspberry Pi GPIO-delt impulsside lugemise võimekuse tekitamiseks kasutati pigpio pythoni tarkvarateeki. Juhised on võetud pigpio mooduli kodulehelt [41]. Installeerimiseks kirjutati käsureale järgnevad read:

```
wget abyz.me.uk/rpi/pigpio/pigpio.zip
Unzip pigpio.zip
cd PIGPIO
make
sudo make install
sudo pigpio
```

Esimese käsuga laaditakse mooduli autori kodulehelt alla tarkvarateek pigpio. Järgnevalt pakiti tarkvarateeki sisaldav .zip fail lahti käsuga *Unzip*. Seejärel muudeti käsurea asukohaks PIGPIO kaust. Käsuga *make* valmistatakse vajalikud installeerimisfailid ning käsuga *sudo make install* installeeritakse tarkvarateek. Viimase käsuga käivitatakse programm pigpio.

4.7. Veebiserveri seadistamine

Mõõtmistulemuste nägemiseks ning jagamiseks reaajas installeeriti Apache2 veebiserver, programmeerimiskeel PHP5, ning PHP5 moodul Apache2 veebiserverile. Juhised on võetud Malcom Macleani raamatust „Raspberry Pi: Measure, Record, Explore“ [42].

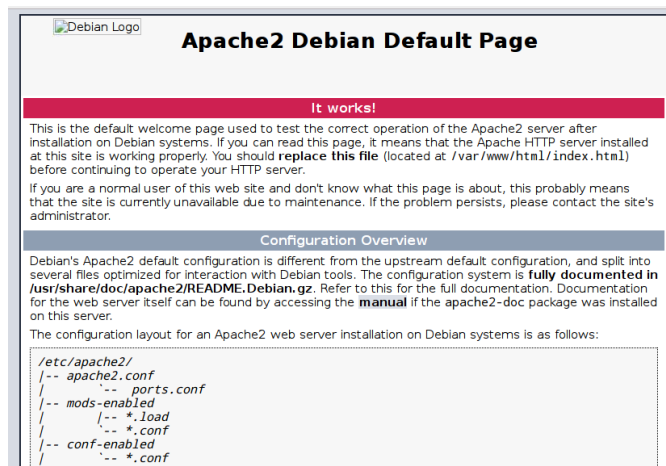
Veebiserveri, programmeerimiskeele ning programmeerimiskeele mooduli installeerimiseks kirjutati käsureale järgnev käsklus:

```
sudo apt-get install apache2 php5 libapache2-mod-php5
```

Peale teekide installeerimist veebiserver taaskäivitati käsklusega:

```
sudo service apache2 restart
```

Seejärel oli võimalik, kasutades Raspberry Pi IP aadressi (Eesti Maaülikooli sisevõrgus 172.16.48.11), ühenduda Apache2 veebiserveriga (joonis 4.2.).



Joonis 4.2. Apache2 veebiserveri algvaade

Joonisel 4.2 on näha Apache2 veebiserveri algset index.html veebilehte. Järgnevalt loodud veebilehed lisati Raspberry Pi kausta /var/www/html/, peale mida oli võimalik antud lehekülgi külastada.

Varasemalt loodud kaust /var/www/html/ on kirjutusõigusega kaitstud, seega loodi kasutajale „Pi“ õigus antud kausta failide kirjutamiseks.

```
sudo chown www-data:www-data /var/www
sudo chmod 775 /var/www
sudo usermod -a -G www-data pi
```

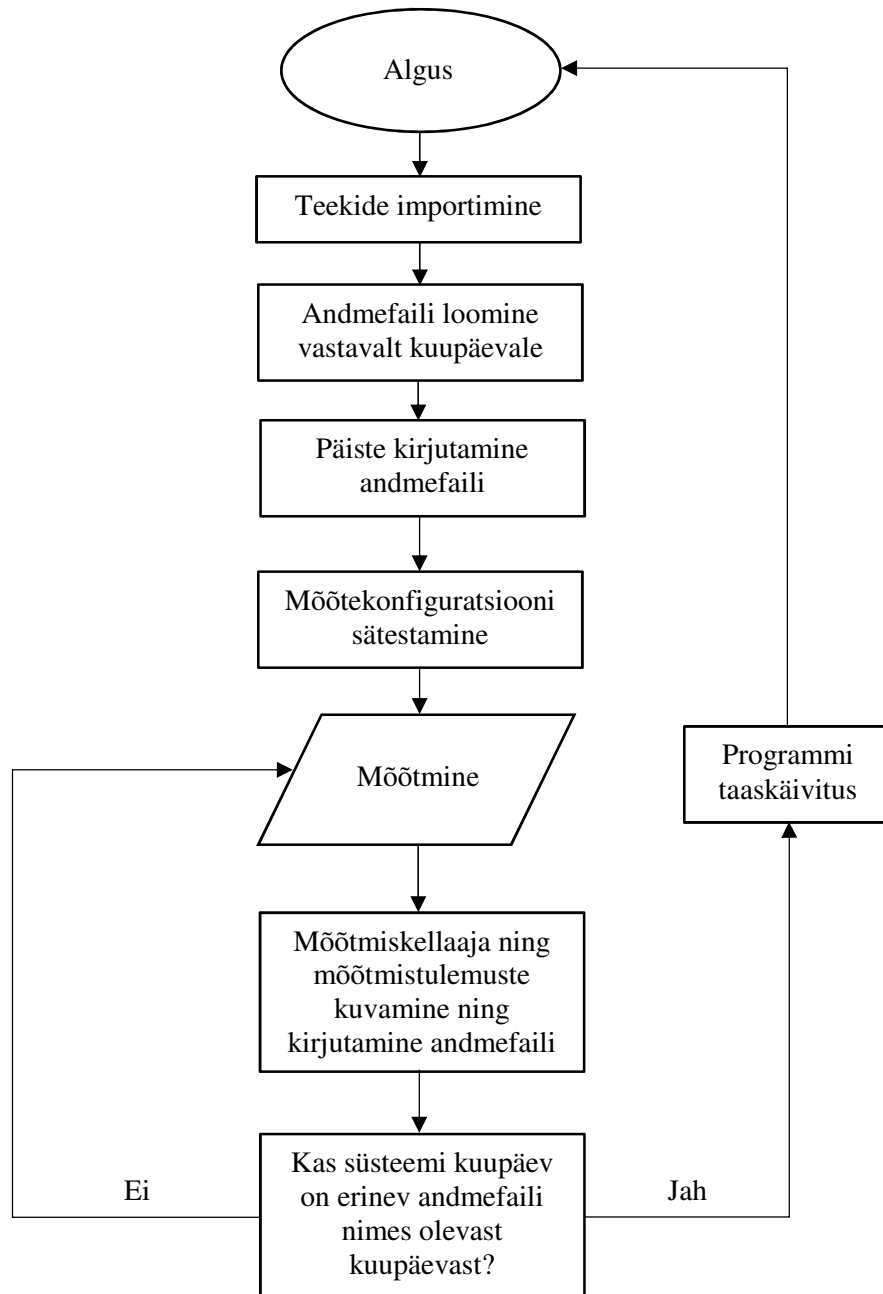
Esimese käsuga loodi kasutajagrupp „www-data“ mis on Raspberry Pi kausta /var/www omanik. Teise käsuga määrati, millised õigused kaustas toimetamiseks on erinevatel kasutajagruppidel. Hetkel on kausta omanikul ning kasutajagrupis olevatel kasutajatel õigus faile salvestada, lugeda ning käivitada. Külastajatel on õigus faile lugeda ning käivitada, kuid neil puudub õigus faile kirjutada. Kolmanda käsuga lisati kasutaja „Pi“ kasutajagruppi „www-data“. Peale käskluste kirjutamist tuli Raspberry Pi taaskäivitada, mida on võimalik teha käsklusega:

```
sudo reboot
```

Peale Raspberry Pi taaskäivitamist on kasutajal „Pi“ õigus kausta /var/www/html/ andmete redigeerimiseks.

4.8. Mõõteandmete salvestamise juhtprogrammi koostamine

Nii temperatuuri, kiiritustihedusandmete kui ka veehulga mõõtmised toimusid sarnase struktuuriga programmide abil. Programmide plokk skeem on esitatud joonisel 4.3.



Joonis 4.3. Mõõteprogrammi plokk skeem

Järgnevalt on mõõteprogrammi plokk skeem lahti seletatud temperatuurimõõtmiste põhjal. Temperatuuri programmi käivitamiseks tuleb käsureale kirjutada käsklus:

```
sudo python3 /home/pi/Desktop/Temperatuurid_Log.py
```

Programmi algul esmalt imporditakse erinevad tarkvarateegid, mis muudavad programmi ülesehituse kompaktsemaks. Temperatuurimõõtmistes imporditi teegid: „time“, „datetime“, „w1thermsensor“, „os“ ning „sys“. Kaks esimest teeki on ajateegid, millega on võimalik kuvada kuupäeva ning kellaaega. Kolmas mainitud teek on loodud temperatuurianduritega mugavamaks ümberkäimiseks. Nimekirjas kaks viimast mainitud tarkvarateeki hoolitsevad selle eest, et oleks võimalik programm igal südaööl sulgeda ning uuesti avada, et hakata salvestama mõõtmistulemusi järgmise päeva nimega andmefaili.

Järgmisena luuakse andmefail, kuhu andmeid salvestama hakatakse. Faili nimetamisel võetakse süsteemi kuupäev ning lisatakse sinna taha täpsustus mõõtmise kohta, näiteks temperatuuride mõõtmiste korral „2018.03.10 Temp.csv“. Käesoleva näite puhul lisati kuupäevale „2018.03.10.“ lisand „Temp.csv“. Faili laiendiks lisati „.csv“, mis on käesolevas töös sobiv andmete hilisemaks töötluks.

Temperatuurimõõtmistes mõõtekonfiguratsiooni sätestamisel identifitseeritakse kõik temperatuuriandurid eraldi.

Mõõtmisfaasis loetakse temperatuuriandurite temperatuuri. Seejärel võetakse süsteemi kellaaeg ning kuvatakse käsuaknas mõõtmistulemused. Seejärel kirjutatakse süsteemi kellaaeg andmefaili ning seejärel kõikide temperatuuriandurite mõõdetud temperatuurid. Peale iga faili kirjutust kontrollitakse, kas andmefaili nimes olev kuupäev on sama süsteemi hetke kuupäevaga. Kui kuupäev ei ole muutunud, suundutakse tagasi mõõtmisfaasi. Kui kuupäev on muutunud, siis programm taaskäivitatakse, mille tagajärjel luuakse uue kuupäeva nimega andmefail ning alustatakse kogu protsessi otsast peale.

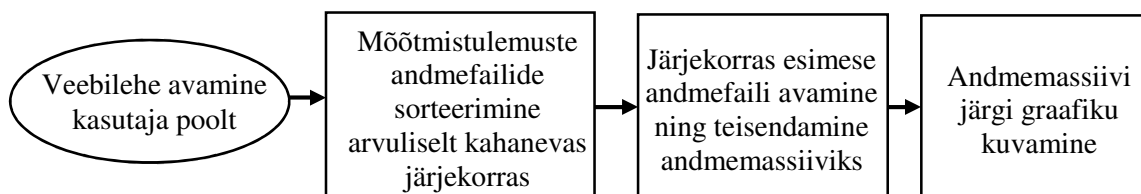
Kõigi mõõteandmete salvestamise juhtprogrammid on toodud Lisades D, E, F.

4.9. Raspberry Pi mõõtetulemuste kuvamine veebis

Veebilehtede kuvamiseks kasutati programmeerimiskeeli HTML ja PHP5. Tööriista *Google Charts* kasutati veebilehtedel graafikute kuvamiseks.

Graafikute kuvamiseks kasutati Enrico Spinielli poolt loodud programmi, mis teisendab .csv andmefailid *Google Charts* i jaoks mõistetavateks andmemassiivideks. Tänu mõõtmistulemusi sisalduvatele andmemassiividele oli võimalik *Google Charts* tööriistaga kuvada veebilehel graafikuid.

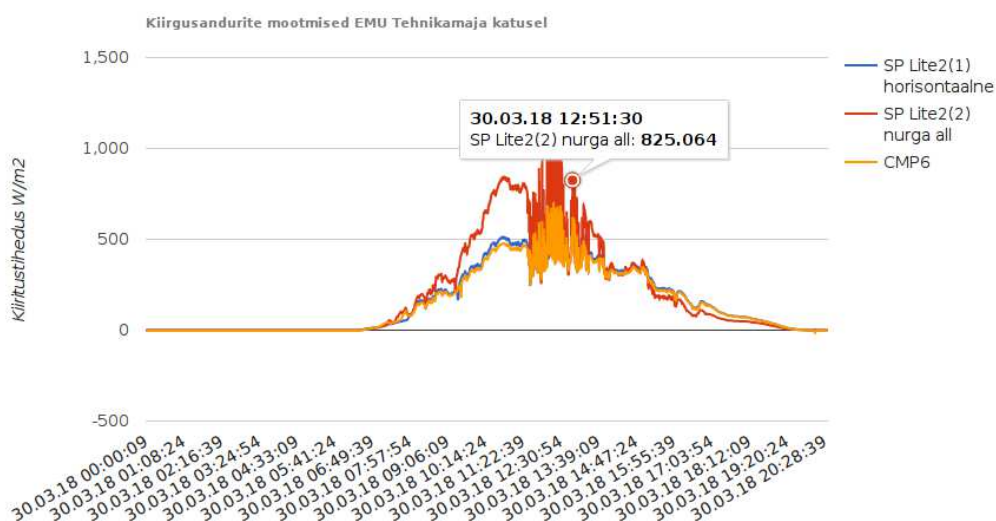
Graafikuid kuvava veebilehe toimimise plokk skeem on esitatud joonisel 4.4.



Joonis 4.4. Graafikuid kuvavate veebilehtede toimimise plokk skeem

Peale veebilehe avamist käivitub PHP skript, mis esmalt otsib mõõtmistulemuste kaustas andmefailide, reastab need seejärel arvuliselt kahanevas järjekorras ning loob sellest andmete rea. Andmerea esimese nime järgi avatakse andmefail ning selles sisalduvad andmed teisendatakse andmemassiiviks. Andmemassiivi järgi kuvatakse *Google Charts* i abil interaktiivne graafik.

Mõõtmistulemuste nägemiseks reaajas seadistati üles veebilehed Eesti Maaülikooli sisevõrku aadressidel 172.16.48.11/Kiirgus.php, 172.16.48.11/Temperatuur.php ja 172.16.48.11/Veekulu.php. Sisestades aadressi internetilehitseja aadressiribale, avaneb graafik antud päeva mõõtmistulemustega (joonis 4.5.)















Joonis 4.5. Kiiritustiheduse mõõtetulemuste kuvamine veebis

Graafiku teljed on automaatselt skaleeruvad. Kuvatav graafik on interaktiivne ehk hiirega joontele või legendile klikkides on võimalik teha erinevaid toiminguid. Hiirega joonele klikkides kuvatakse selles asukohas mõõtmise kellaaeg, anduri nimetus ning mõõtmistulemus (näiteks joonisel 4.5. „30.03.18 12:51:30 SP Lite2(2) nurga all: 825.064). Hiirega legendil klikkides näiteks kirjale „SP Lite2(1)“ kõrval olevale joonele aktiveerub graafikul antud joon. Tänu interaktiivsele graafikule on võimalik graafikut mugavamalt jooksvalt lugeda.

Antud graafik on mõeldud jooksvalt päeva kiirgusandmete jälgimiseks, kuid mitte avaldamiseks. Kuna mõõtmistulemuste salvestamine toimub iga sekundi järel, võivad pilves-selginemistega päeval graafikud olla väga hüplikud (nagu on näha joonisel 4.5.). Seetõttu soovitaks töö autor andmefaile täiendavalt töödelda Excelis, võttes mõõtetulemusteks 5 minuti keskmised.

Kõiki mõõtmistulemusi on .csv formaadis võimalik Eesti Maaülikooli sisevõrgus alla laadida aadressidelt 172.16.48.11/mootmised/, 172.16.48.11/mootmisedtemp/ ja 172.16.48.11/mootmisedvesi/, kus asuvad vastavalt kiiritustiheduse, temperatuuri (joonis 4.6) ning akumulatsioonipaagist väljunud veehulga mõõtmised.

Index of /mootmisedtemp

Name	Last modified	Size	Description
 Parent Directory		-	
 01.03.18 Temp.csv	2018-03-02 00:00	374K	
 02.03.18 Temp.csv	2018-03-03 00:00	878K	
 03.03.18 Temp.csv	2018-03-04 00:00	869K	
 04.03.18 Temp.csv	2018-03-05 00:00	881K	
 05.03.18 Temp.csv	2018-03-06 00:00	876K	
 06.03.18 Temp.csv	2018-03-07 00:00	885K	
 07.03.18 Temp.csv	2018-03-07 16:02	79K	
 2018.03.07 Temp.csv	2018-03-08 00:00	60K	
 2018.03.08 Temp.csv	2018-03-09 00:00	424K	
 2018.03.09 Temp.csv	2018-03-10 00:00	864K	
 2018.03.10 Temp.csv	2018-03-11 00:00	876K	

Joonis 4.6. Andmete kättesaadavus veebiserverist

Joonisel 4.6. on näha veebilehitseja kuvapilt, kus on näha kaustas „mootmised“ olevad mõõtmistulemused. Klikkides hiirega nimede peale, on võimalik soovitud andmefaile alla laadida.

5. MÕÕTMISTULEMUSED JA ANALÜÜS

5.1. Mõõtmiste üldinfo

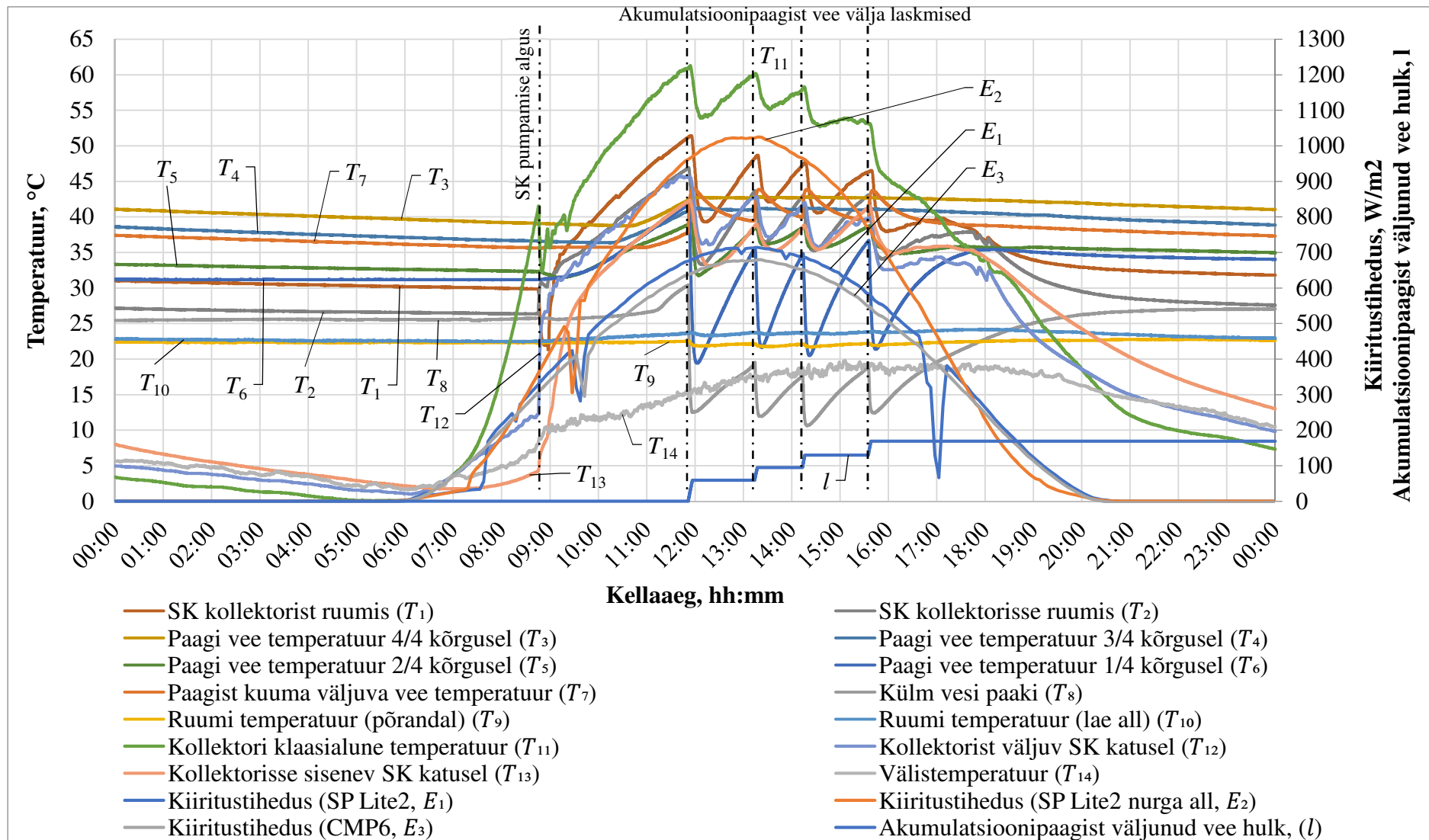
Kiiritustiheduse mõõtmistulemusi hakati salvestama alates 17. veebruarist 2018. Kõik kolm püranomeetrit olid algselt paigaldatud maapinna suhtes horisontaalselt. 9. märts 2018 teisaldati üks kahest SP Lite2 püranomeetrist päikesekollektori küljes olevale eraldi alusele, et püranomeetri paiknemine maapinna suhtes oleks sama mis päikesekollektori oma. Temperatuuriandmete mõõtmistulemusi hakati salvestama 28. märtsist 2018. Akumulatsioonipaagist väljuva vee hulka hakati salvestama alates 13. aprillist 2018.

Mõõtmistulemusi võrreldi hetkel kasutuses olevate mõõtesüsteemidega. Temperatuurimõõtmisi võrreldi signaaluunduri TC-08 baasil töötava mõõtesüsteemiga ning energiaarvestiga RESOL WMZ. Kiiritustiheduse mõõtmisi võrreldi Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusel asuva Davis Vantage Pro2 ilmajaama ning Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel asuva ilmajaama kiiritustiheduse andmetega. Veehulgamõõtmisi võrreldi veemõõtja peal asuva analoognäiduga.

5.2. Päikeseküttesüsteemi mõõtmistulemused 14. aprill 2018

5.2.1. Raspberry Pi mõõtesüsteemi mõõtmistulemused

Joonisel 5.1. on esitatud Raspberry Pi baasil mõõtmissüsteemi kõik mõõdetud 18 päikeseküttesüsteemi tööparameetrit.



Joonis 5.1. Päikeseküttesüsteemi mõõtmised 14. aprillil

Ligikaudu kell 6 hommikul hakkasid tõusma mõõdetud kiiritustiheduse väärtused (E_1 , E_2 , E_3) ning koos nendega samuti kollektori klaasialune temperatuur (T_{11}). Temperatuur päikesekollektori all tõusis esmalt temperatuurilt $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni temperatuurini $43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatuur tõusis senikaua, kuni hakati päikesekollektori soojuskandjat ringi pumpama. Kuna soojuskandja katusel asuvates torudes oli veel külm, siis esmalt temperatuur kollektori klaasi all T_{11} langes $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ võrra ning hakkas seejärel järk-järgult tõusma.

Kui vaadelda kollektorist saabuva soojuskandja temperatuuri ruumis, siis võib märgata, et enne soojuskandja ringipumpamist oli temperatuur T_1 ligikaudu $31\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kui alustati soojuskandja ringipumpamisega kell 8:46, siis langes temperatuur T_1 ligikaudu $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ võrra tänu kollektorist saabuva soojuskandja madalamale temperatuurile T_{12} õues, mis oli $13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kõik mõõdetavad temperatuurid tõusid kuni umbes kella 12:00-ni, kuniks hakati akumulatsioonipaagist kuuma vett välja laskma. Graafikul kajastub see temperatuuride T_1 , T_2 , T_5 , T_6 , T_8 , T_{11} , T_{12} , T_{13} langusega ning paagist kuuma väljuva vee temperatuuri T_8 tõusuga. Temperatuurid paagi ülemises osas kõrgustel $4/4\ T_3$ ning $3/4\ T_4$ püsisid paagist kuuma vee väljalaskmise tagajärjel praktiliselt muutumatuna.

Kui vaadelda mõõdetud kiiritustiheduse väärtuseid E_1 , E_2 , E_3 , siis võib märgata, et kella 9:30 vahel on kõigi kolme püranomeetri näitudes toimunud *ca* 120 W/m^2 -ne langus võrreldes tavapärasega. Antud langus oli tingitud Tehnikamaja katusel asuva tuulemõõtja tekitatud varju tõttu püranomeetritele. Vari langes esmalt püranomeetrile SP Lite2, mille asetus maapinna suhtes on kollektoriga sarnane (joonisel 3.2 kõige vasakpoolsem), seejärel püranomeetrile SP Lite2, mis on asetatud maapinna suhtes horisontaalselt (joonisel 3.2 vasakult teine) ning siis püranomeetrile CMP6 (joonisel 3.2 paremalt teine). Graafikul kajastub see päikesekollektori klaasialuse temperatuuri T_{11} mõne kraadise langusega. Õhtupoole kella 17:00 paiku on märgata horisontaalselt asetseva püranomeetri näidu langemist drastiliselt. Kuna tegemist on ainult ühe püranomeetri näidu langemisega ning vari ei kajastu kollektori klaasialuse temperatuuri T_{11} languses, võib järeldada, et tegemist võis olla mõne linnuga, kes võis takistada päikesekiirguse levikut püranomeetrini.

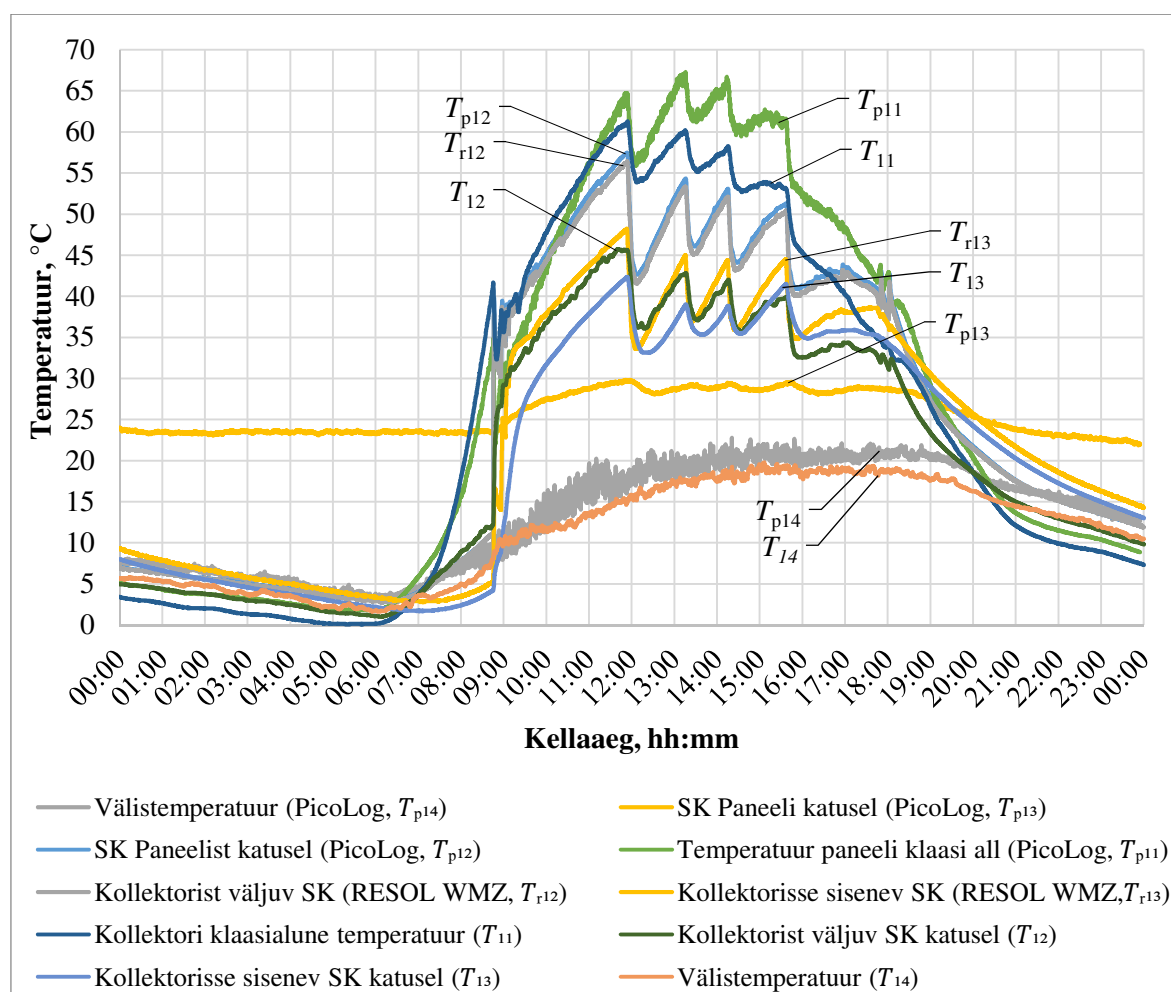
Joonisel 5.1. on samuti kujutatud akumulatsioonipaagist välja lastud kuuma vee hulka. Esimene vee väljalaskmine, mis toimus kella 12:00 paiku, kattub temperatuuriväärtuste langusega. Esimese vee väljalaskmise olukorras lasti välja 59 liitrit vett, teises olukorras

lisaks 36 liitrit, kolmandas olukorras 35 liitrit ning neljandas olukorras 39 liitrit. Kokku lasti päeva jooksul välja 169 liitrit vett.

5.2.2. Temperatuurimõõtmiste võrdlus

Järgnevalt võrreldakse käesolevas töös valmistatud mõõtmissüsteemi 14. aprilli temperatuuriandurite tulemusi arvutipõhise mõõtmissüsteemi ning RESOL WMZ tulemustega.

Kuna signaaluunduri TC-08 baasil mõõtmissüsteemi ning RESOL WMZ-iga kõiki temperatuure ei mõõdetud, mida mõõdeti Raspberry Pi baasil oleva mõõtesüsteemiga, siis kõiki temperatuure ei olnud võimalik võrrelda. Joonisel 5.2. on esitatud väliruumis asuvate temperatuuriandurite tulemuste võrdlus.



Joonis 5.2. Mõõtmistulemuste võrdlus

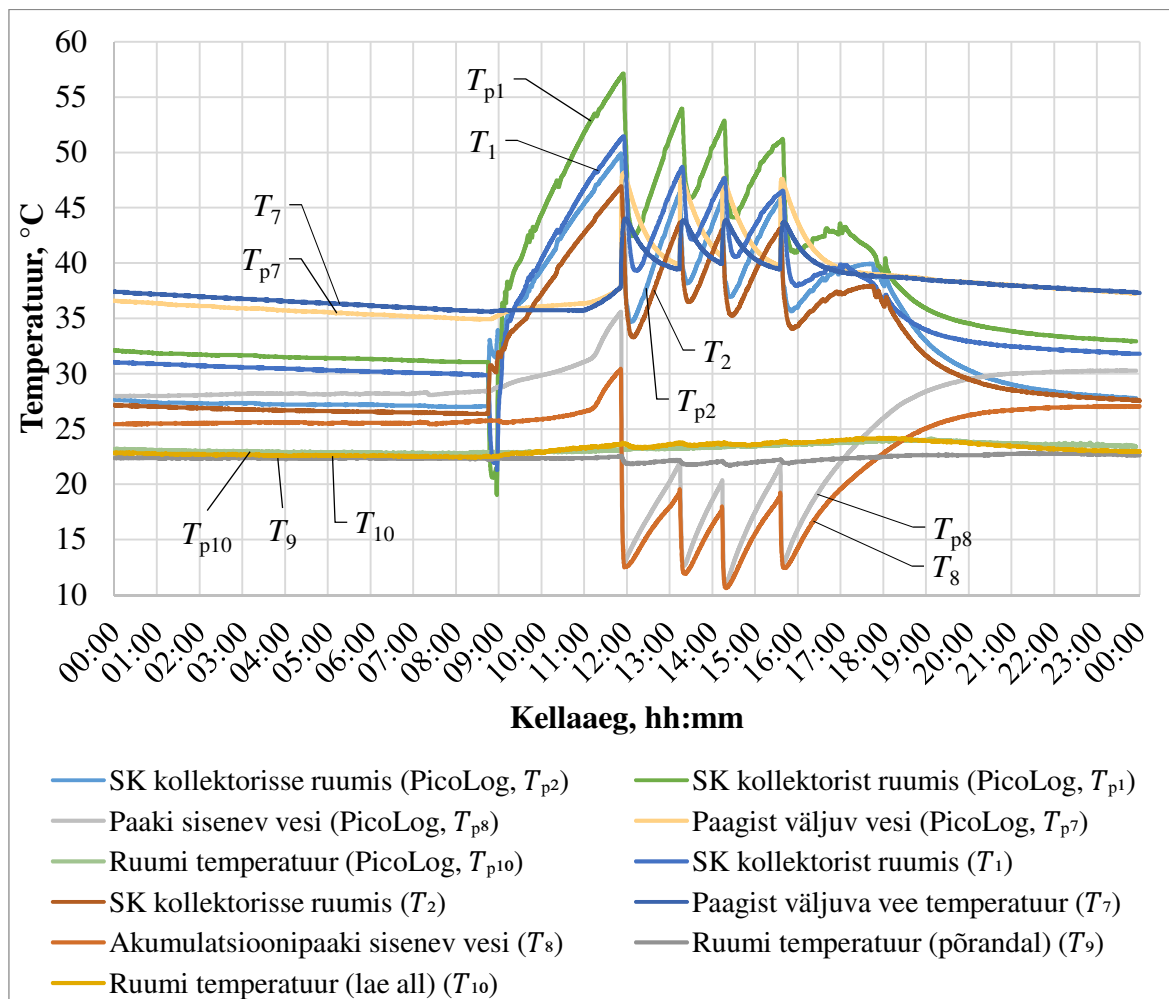
Joonisel 5.2. on esitatud kolme süsteemi ruumiväliste temperatuuriandurite mõõtmised. Võrreldes päikesekollektori klaasialuseid temperatuurimõõtmisi (T_{p11} , T_{11}) on näha, et öisel ajal on PicoLog mõõtesüsteemi välisõhu temperatuur (T_{p11}) stabiilselt ligikaudu 2 °C kõrgem, võrreldes Raspberry Pi süsteemi mõõdetud (T_{11}) tulemusega. Päeva algusest kuni lõunani on kahe süsteemi tulemused samas suurusjärgus. Peale lõunat on signaaluunduri TC-08 baasil mõõtesüsteemi temperatuur kõrgem kui Raspberry Pi baasil mõõtmisüsteemi oma. Põhjus võib olla selles, et Raspberry Pi mõõtmisüsteemi temperatuuriandur asub võrreldes TC-08 mõõtesüsteemi temperatuurianduriga lääne pool ehk hommikupoole saab temperatuuriandur DS18B20 rohkem valgust ning seega soojeneb ka rohkem. Mida päev edasi, seda rohkem hakkab päike paistma rohkem TC-08 mõõtesüsteemi temperatuurianduri peale ning seega soojeneb see enam. Peale päikese loojumist taastub öine olukord, kus termopaariga mõõdetud temperatuur on 2 K kõrgem võrreldes Raspberry Pi süsteemi mõõdetud tulemusest.

Kollektorist väljuva soojuskandja temperatuuri mõõtsid kõik kolm süsteemi. Kui võrrelda RESOL WMZ (T_{r12}) ja TC-08 (T_{p12}) mõõtmisüsteemi, siis olid tulemused praktiliselt identsed. Raspberry Pi mõõtmisüsteemi tulemused (T_{12}) olid kuni 10 K madalamad võrreldes varem mainitud mõõtmisüsteemide omadega. RESOL WMZ andurid asuvad soojuskandja torudesse monteeritud spetsiaalsetes pronksist anduripesades, TC-08 vastavad andurid paiknesid nende anduripesade korpustega kontaktis. Anduri DS18B20 asukoht oli samuti anduripesa korpusega kontaktis, kuid soojusülekanne sellele on nähtavasti siiski halvem seoses anduri konstruktsiooniga. Piisava soojustamise korral peaksid termopaaride ja DS18B20-de temperatuurid olema võrdsed.

Kollektorisse siseneva soojuskandja temperatuure mõõtsid samuti kõik kolm süsteemi. Erinevalt eelmisest süsteemist erinesid RESOL WMZ (T_{r13}) ja TC-08 (T_{p13}) mõõtmisüsteemi tulemused märkimisväärselt. Vaadates joonisel 5.2 temperatuuri T_{p13} võib näha, et tegemist ei ole loogiliste tulemustega kui võrrelda neid temperatuuridega T_{r13} ja T_{13} . On näha, et hommikul kell 6:00 on T_{p13} väärtus ligikaudu 23 °C ehk toatemperatuur samal ajal kui temperatuurid T_{r13} ja T_{13} on ligikaudu 2 °C ehk välistemperatuur. Erinevuse põhjuseks on rikkis mõõteahel. Kui võrrelda mõõtmistulemusi T_{r13} ja T_{13} , siis oli Raspberry Pi baasil mõõtmisüsteemi tulemus sarnaselt kollektorist väljuva soojuskandja temperatuurile samuti madalam. Antud parameetriga oli vahe väiksem, päeva lõikes ligikaudu 3 K.

Kui võrrelda välisõhu temperatuuriandurite mõõtetulemusi, siis on signaaluunduri TC-08 baasil mõõtesüsteemi välistemperatuur päeva lõikes ligikaudu 3 K kõrgem kui Raspberry Pi baasil mõõtmisüsteemi välistemperatuur.

Joonisel 5.3 võrreldakse ruumis asuvate Raspberry Pi ning signaaluunduri TC-08 baasil mõõtmisüsteemide temperatuuriandurite tulemusi.



Joonis 5.3. Mõõtmistulemuste võrdlus

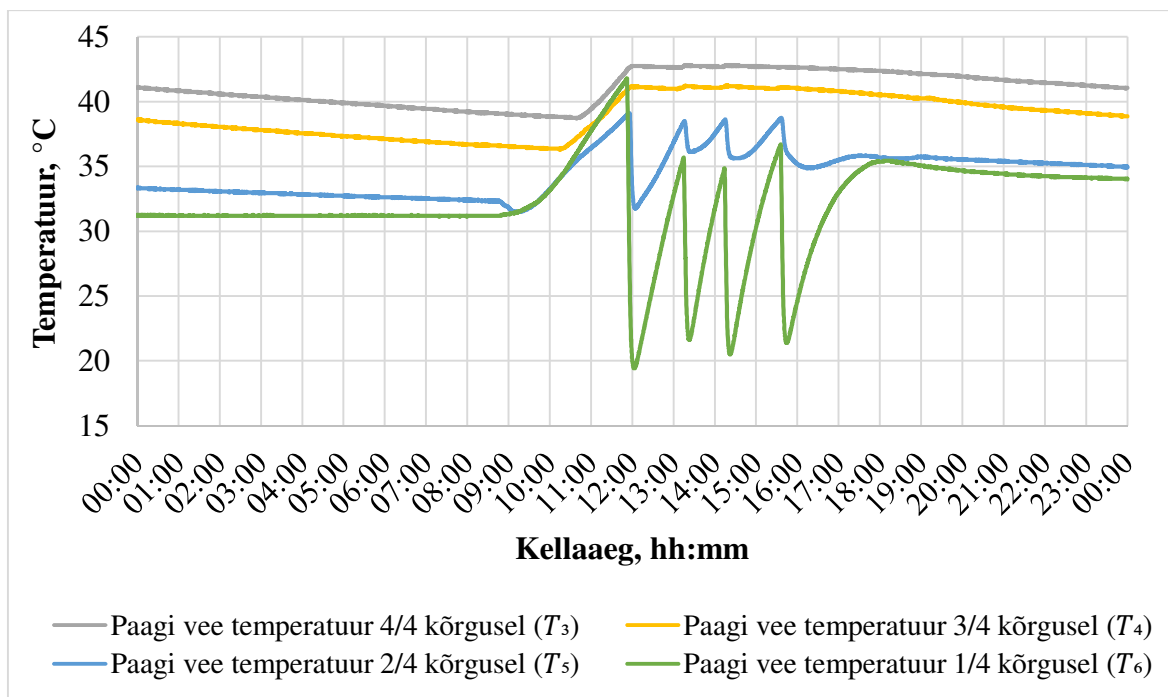
Kui võrrelda päikesekollektorist saabuva soojuskandja temperatuure T_1 ja T_{p1} , siis võib märgata varasemalt kirjeldatud olukorda, kus termopaaride poolt mõõdetav temperatuur on kõrgem digitaalsete temperatuuriandurite DS18B20 omast. Vahe on päeva lõikes ligikaudu 5 K. Põhjused on tõenäoliselt samad, mis eelnevalt mainitud. Sarnane olukord on päikesekollektorisse suunduva soojuskandja temperatuuridega T_2 ja T_{p2} . Temperatuuride erinevus päeva lõikes on ligikaudu 2 K.

Kui võrrelda joonisel 5.3. olevaid akumulatsioonipaaki siseneva vee temperatuure T_{p8} ja T_8 , siis on sarnane olukord nagu ka eelnevatel joonistel. TC-08 baasil mõõtmisüsteemi temperatuur T_{p8} on ligikaudu 3...5 K kõrgem võrreldes Raspberry Pi baasil mõõtmisüsteemi digitaalse temperatuurianduri väärtus T_8 . Kui külma vett hakatakse akumulatsioonipaaki pumpama, siis temperatuurid võrdsustuvad. Kui pumpamine lõpetatakse, saabub jälle olukord, kus termopaaride mõõdetud temperatuur on 3...5 K kõrgem digitaalsetest temperatuurianduritest.

Kui võrrelda paagist väljuva kuuma vee temperatuure T_7 ja T_{p7} , siis on tavaolukorras (siis kui vett paagist välja ei lasta) temperatuuride erinevus 1 K piires. Sellel hetkel kui hakatakse kuuma vett akumulatsioonipaagist välja laskma, suudab termopaar kõrgema temperatuurini tõusta ning seega on temperatuuride vahe kuni 5 K. Võib järeldada, et termopaari temperatuuritegur on võrreldes digitaalse temperatuurianduri DS18B20-ga madalam.

Joonisel 5.3 on samuti esitatud ruumi temperatuuriandurite T_9 , T_{10} , T_{p10} mõõtmistulemused. Temperatuurid T_{10} ja T_{p10} on mõõdetud lae alt ning temperatuur T_9 põranda läheduses. Jooniselt võib näha, et temperatuurid T_{10} ja T_{p10} on praktiliselt võrdsed. Temperatuur põranda kohal T_9 on päeva jooksul ligikaudu 1...2 K madalam kui lae all olev temperatuur. Madalam temperatuur võib olla põhjustatud sellest, et külma vett pumbatakse akumulatsioonipaaki, mille tagajärjel temperatuur maapinna lähedal langeb. Öösiti on põranda ja lae all temperatuuride vahe alla 1 K.

Kuna nii signaaluunduri TC-08 kui ka RESOL WMZ mõõtmisüsteemiga akumulatsioonipaagis oleva vee temperatuure erinevatel kõrgustel ei mõõdetud, ei ole neid mõõtmistulemusi võimalik võrrelda. Võrrelda oli võimalik Raspberry Pi baasil mõõtmisüsteemi mõõtetulemusi omavahel. Joonisel 5.4 on esitatud akumulatsioonipaagi eri kõrgustel mõõdetud vee temperatuurid.



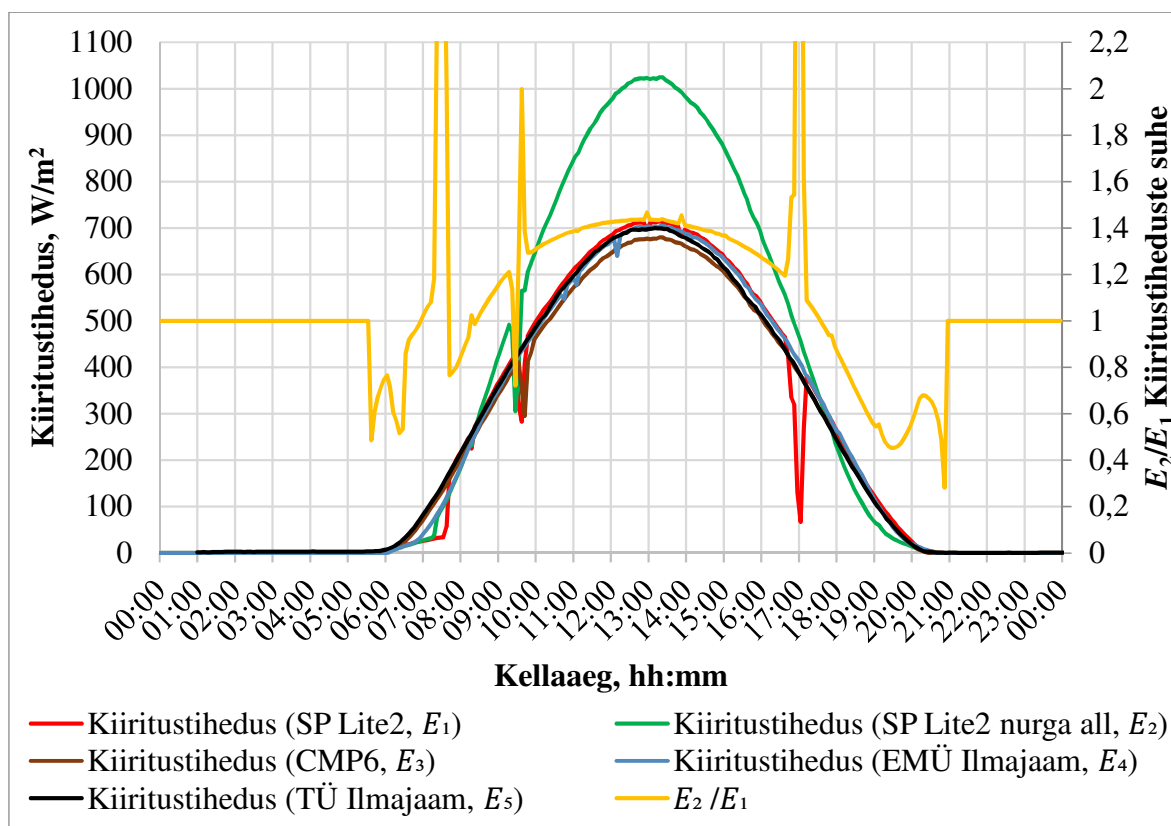
Joonis 5.4. Akumulatsioonipaagi temperatuurid

Soojuskandja ringipumpamine algas veidi enne kella 9:00. Joonisel 5.4. on näha, kuidas peale seda, kui soojuskandjat hakati ringi pumpama, hakkasid akumulatsioonipaagi kahe alumise temperatuurianduri (T_4 , T_5) näidud tõusma. Umbes pooleteise tunni pärast kell 10:30 hakkas tõusma paagi vee temperatuur 3/4 kõrgusel (T_6) ning mõni hetk hiljem ka kõige ülemisem paagi vee temperatuur (T_7). Graafikult on näha, kuidas akumulatsioonipaagis tõusis kõige alumisem temperatuur praktiliselt võrdseks akumulatsioonipaagi kõige kõrgema temperatuuriga. Tõenäoliselt on päikesekollektorist saabuv soojuskandja lähedal akumulatsioonipaagi kõige alumisele temperatuuriandurile. Vee temperatuurid akumulatsioonipaagis tõusid kuni umbes kella 12:00-ni, mil akumulatsioonipaagist hakati kuuma vett välja ning samal ajal külma vett sisse laskma. Paagi vee temperatuurid kõrgustel 4/4 (T_6) ja 3/4 (T_5) langesid peale vee väljalaskmist vastavalt ligikaudu 20 K ning 10 K võrra. Akumulatsioonipaagi vee temperatuurid ülemises osas püsisid vee väljalaskmise hetkedel praktiliselt muutumatuna.

5.2.3. Kiirguse mõõtmiste võrdlus

Joonisel 5.7 on esitatud päikesepaistelise 14. aprilli püranomeetrite (2 tk SP Lite2, CMP6) mõõtmistulemused ning võrdluseks Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusel asuva Davis

Vantage2 Pro [43] ning Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel asuva ilmajaama kiiritustiheduse mõõtmistulemused [44].



Joonis 5.5 Päikeselt pärineva kiiritustiheduse mõõtmised 14. aprill [43,44]

Joonisel 5.5 võib näha, et kui võrrelda horisontaalselt asuvate andurite kiiritustihedusi (E_1 , E_4 , E_5), siis on kõik mõõtmised samas suurusjärgus. Maapinna suhtes horisontaalselt asetsev püranomeeter CMP6 (E_3) annab võrreldes horisontaalselt asetseva püranomeetriga SP Lite2 (E_1) päeva lõikes ligikaudu 4...6 % madalamaid tulemusi. Tuleks kaaluda püranomeetri CMP6 kalibreerimist või tundlikkuse teguri korrigeerimist ~5 % kõrgemaks. Sarnasemate tulemuste huvides võiks püranomeetri CMP6 tundlikkus olla 15,65 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$, kuid kuna absoluutselt kindel ühe või teise mõõteseadme tulemuste õigsuses olla ei saanud, jäeti tundlikkuse tegurid samaks mis tootja püranomeetri kalibreerimislehel.

Ajavahemikus 06:00...08:00 on näha mõõtmistulemuste E_1 , E_2 mõningast mahajäämist, võrreldes kiiritustihedusmõõtmistega E_3 , E_5 . Madalamad tulemused on põhjustatud varjudest, mille seavad välised objektid. Samuti varjestatakse püranomeetrid (E_1 , E_2 , E_3) kella 09:00...10:00 vahel, mil püranomeetrite näit langeb ligikaudu 130 W/m² võrra.

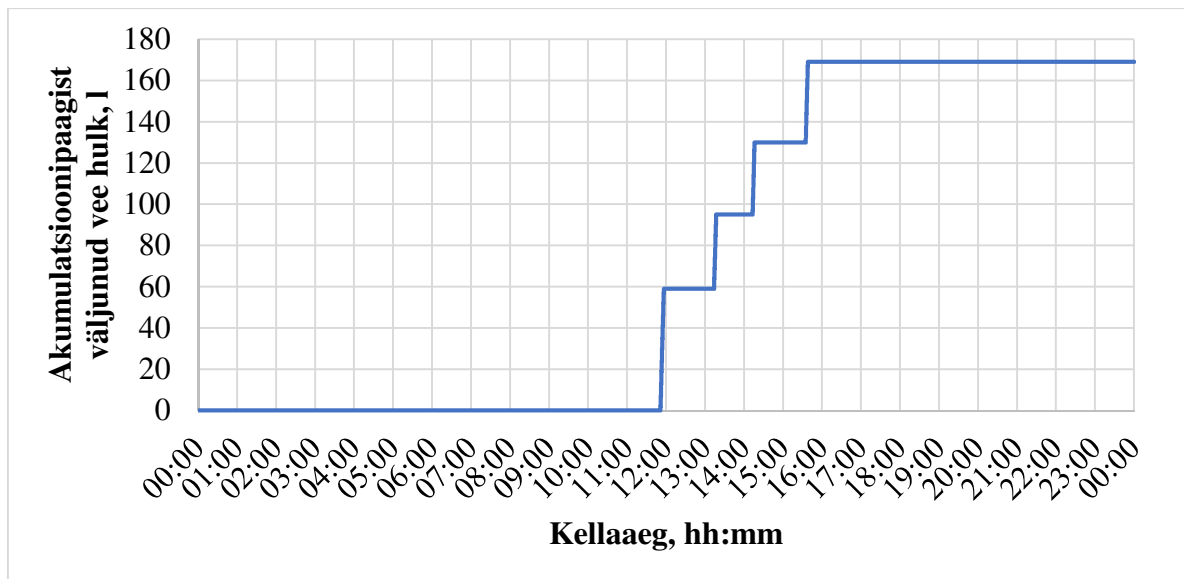
Joonisel 5.7 võib samuti märgata EMÜ ilmajaama mõõtmistulemuste E_4 mahajäämist päeva alguses teistest mõõtmistulemustest. Kella 8:00-ks oli mõõtmistulemus sarnane teistele mõõtmistulemustele.

Joonisele 5.5 lisatud kahe püranomeetri näitude suhe (horisontaalpinna suhtes nurga all oleva püranomeetri SP Lite2 ja horisontaalse püranomeetri SP Lite2). Võib märgata, et ligikaudu kella 8:30-st langeb nurga all asetsevale püranomeetrile võrreldes horisontaalse püranomeetriga suurem kiiritustihedus. Ligikaudu kella 17:30-st langeb juba horisontaalsele püranomeetrile võrreldes nurga all asuva püranomeetriga suurem kiiritustihedus. Päeva jooksul oli nurga all asuva püranomeetri näit maksimaalselt 1,43 korda ehk 43 % suurem kui horisontaalse püranomeetri näit. Päeva lõikes langeb nurga all asuvale püranomeetrile 30,7 % rohkem kiirgusenergiat. Võrdluseks 14. märtsi mõõtmistulemused, kui nurga all asuva püranomeetri näit oli maksimaalselt 1,95 korda ehk 95 % suurem kui horisontaalse püranomeetri näit [45].

5.2.4. Veehulga mõõtmiste võrdlus

Kuna hetkel kasutuses olevate mõõtesüsteemidega akumulatsioonipaagist väljuva vee hulka ei mõõdetud, ei olnud võimalik mõõtetulemusi võrrelda. Küll aga vaadeldi veearvesti näitu 13. aprilli õhtupoolikul ning 15. aprilli hommikupoolikul, enne kui veel akumulatsioonipaagist oli jõutud vett välja lasta. Veearvesti näidud olid vastavalt 160,907 m³ ja 161,076 m³ mis teeb 14. aprilli veenäiduks 0,169 m³ ehk 169 liitrit.

Joonisel 5.6 on esitatud 14. aprilli veehulga mõõtmised.



Joonis 5.6. Veehulga mõõtmised 14. aprill

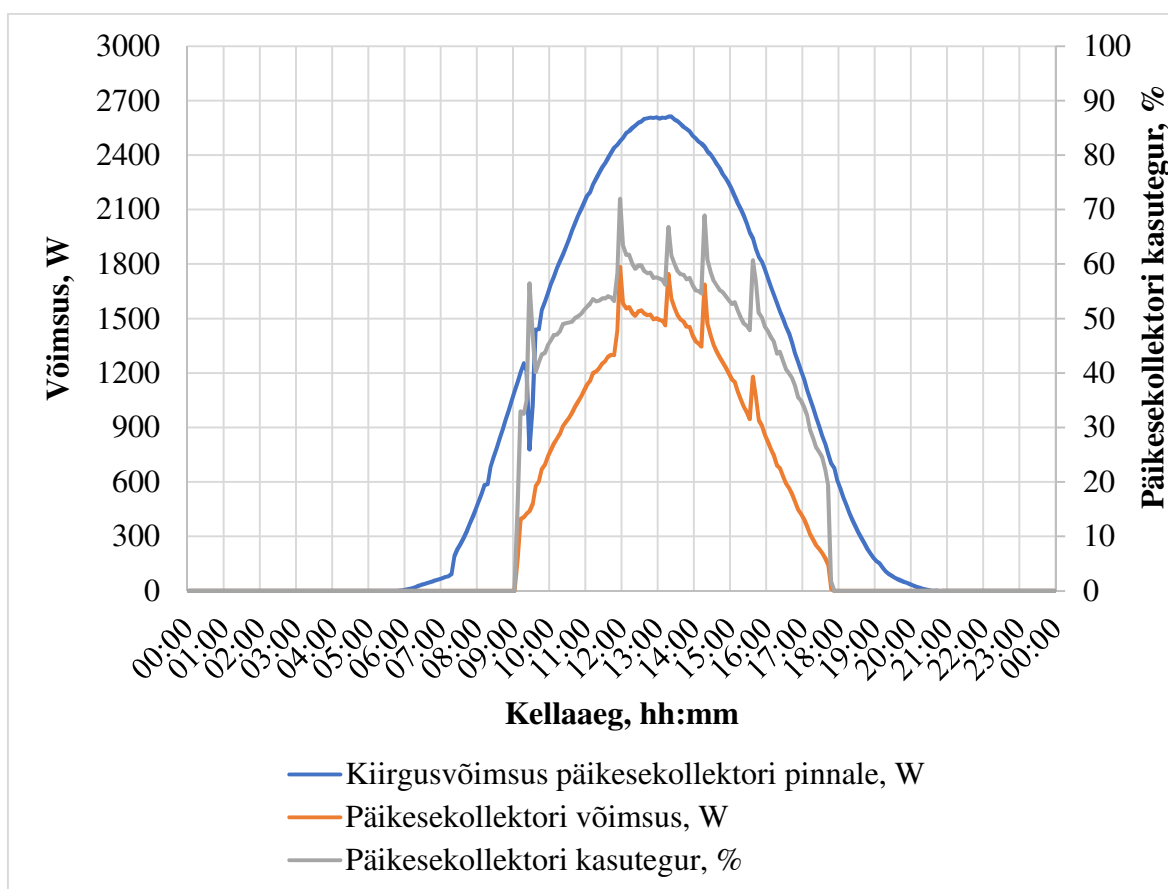
Joonisel on näha, et 14. aprillil lasti akumulatsioonipaagist välja vett neljal korral ning kokku 169 liitrit, mis kattub veearvesti näiduga. Esimest korda lasti vett välja veidi enne kella 12.00. Esimesel korral lasti välja 59 liitrit, teisel korral 36 liitrit, kolmandal 35 liitrit ning neljandal korral 39 liitrit vett. Võib järeldada, et esimesel korral lasti kõige rohkem vett välja seetõttu, et akumulatsioonipaaki sisenev külm vesi oli öö jooksul torudes jõudnud üles soojeneda ning seega pumbati esmalt akumulatsioonipaaki peaaegu toatemperatuuril vett. Teistel kordadel lasti akumulatsioonipaagist iga kord vähem vett välja, välja arvatud viimasel korral, kus võrreldes varasema vee väljalaskmisega lasti välja 4 liitrit rohkem vett. Tõenäoliselt oli see tingitud sellest, et päev oli juba hilisem ning päikesel läks vee soojendamiseks määratud temperatuurini kauem aega. Selle ajaga jõudis torudes olev vesi rohkem soojeneda ning seega oli tarvis akumulatsioonipaagist ka rohkem vett välja lasta.

5.2.5. Päikeseküttesüsteemi kasuteguri määramine

Kuna päikesekiirguse kiiritustiheduse mõõtmised toimusid iga sekundi järel, siis liites kokku päikesekollektori nurga all asuvale püranomeetrile SP Lite2 langenud kiiritustiheduse väärtused, saame teada, et 14. aprillil langes püranomeetrile $26693303,58 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ehk $7,41 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ning korrutades selle päikesekollektori kogupinnaga $2,55 \text{ m}^2$, saame teada, et päikesekollektorile langev energiahulk 14. aprillil oli $18,91 \text{ kW}\cdot\text{h}$. Soojusarvesti RESOL WMZ-i akumulatsioonipaaki salvestatud soojusenergiakogus oli 14. aprillil $9,175 \text{ kW}\cdot\text{h}$.

Seega saame järeldada, et päikesekollektori päeva keskmine kasutegur oli 48,5 %. Kui kasutada päikesekollektori kogupinna asemel näiteks absorberi pindala, mis on 2,25 m², siis oleks päikesekollektorile langev energiahulk 16,6725 kW·h ning päikesekollektori päeva keskmiseks kasuteguriks oleks 55,0 %. Kuna teoreetiliselt neelab kiirgust ka konstruktsioon, siis otsustati edaspidistes arvutustes kasutada päikesekollektori kogupinda.

Joonisel 5.7. on esitatud päikesekollektori nurga all asuva püranomeetri näit korrutatuna päikesekollektori pindalaga (2,55 m²), RESOL WMZ-i mõõdetud päikesekollektori väljundvõimsus ning nende põhjal arvutatud päikesekollektori kasutegur.



Joonis 5.7. Päikesekollektori kasutegur 14. aprilli mõõtetulemuste põhjal

Joonisel näeme, et päikesekollektori maksimaalne väljundvõimsus oli 1,91 kW. Päikesekollektori väljundvõimsuse järsud hüpped leidsid aset nendel hetkedel, kui akumulatsioonipaagist lasti kuumat vett välja, mille tagajärjel hakati külmemat soojuskandjat kollektorisse pumpama, mille tagajärjel päikesekollektori väljundvõimsus kasvas.

Päikeseküttesüsteemi kasuteguri leidmiseks leiame ligikaudselt, kui palju energiat kulus 169 liitri vee soojendamiseks vajalikule temperatuurile. Võttes vee erisoojuseks 4190 J/kg K, ligikaudseks akumulatsioonipaaki siseneva vee temperatuuriks T_8 15 °C, akumulatsioonipaagist väljuva vee temperatuuriks T_7 45 °C ning et üks liiter vett on ligikaudu üks kilogramm, saame valemiga 5.1 leida soojusenergia koguse, mis kulus 169 liitri vee soojendamiseks:

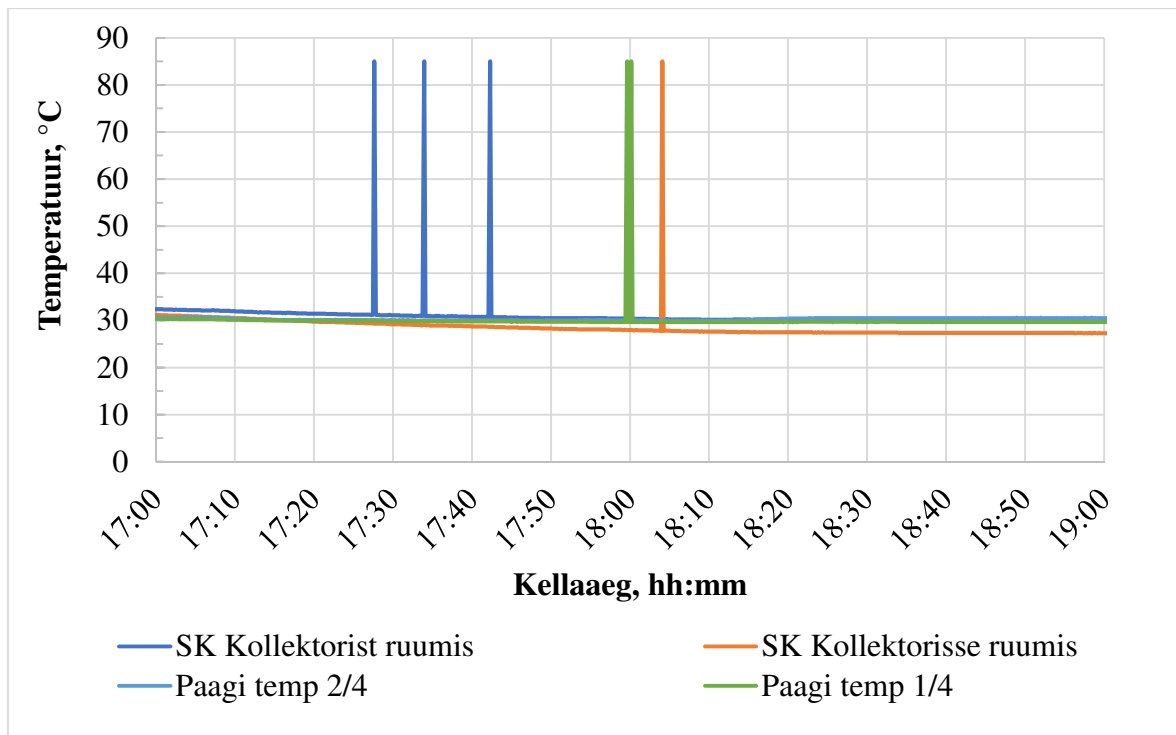
$$Q = \frac{c \cdot m (T_7 - T_8)}{3600} = \frac{4190 \cdot 169 (45 - 15)}{3600} = 5,9 \text{ kW} \cdot \text{h}, \quad (5.1)$$

kus	Q	on	soojusenergia hulk, mis kulub vee soojendamiseks, kW·h;
	c	–	vee erisoojus, J/kg K;
	m	–	vee mass, kg;
	T_7	–	akumulatsioonipaagist väljuva vee temperatuur, °C;
	T_8	–	akumulatsioonipaaki siseneva vee temperatuur, °C.

Arvutuse tulemusena saime, et 169 liitri vee soojendamiseks 15 °C kuni 45 °C kulub 5,9 kW·h energiat. Kui jagada vee soojendamiseks kulunud energia 5,9 kW·h päikesekollektori pinnale langenud energiahulgaga 18,91 kW·h, saame, et päikeseküttesüsteemi kasuteguriks oli 14. aprillil 31 %.

5.3. Esinenud mõõtmissüsteemi rikked

Mõõtmissüsteemi töötamisel esines rikete tõttu kolme tüüpi anomaaliaid. Esimeseks olukorraks oli üksikute temperatuuriandurite näit 85 °C. Joonisel 5.8. on esitatud 27. märtsi temperatuuri mõõtmised.

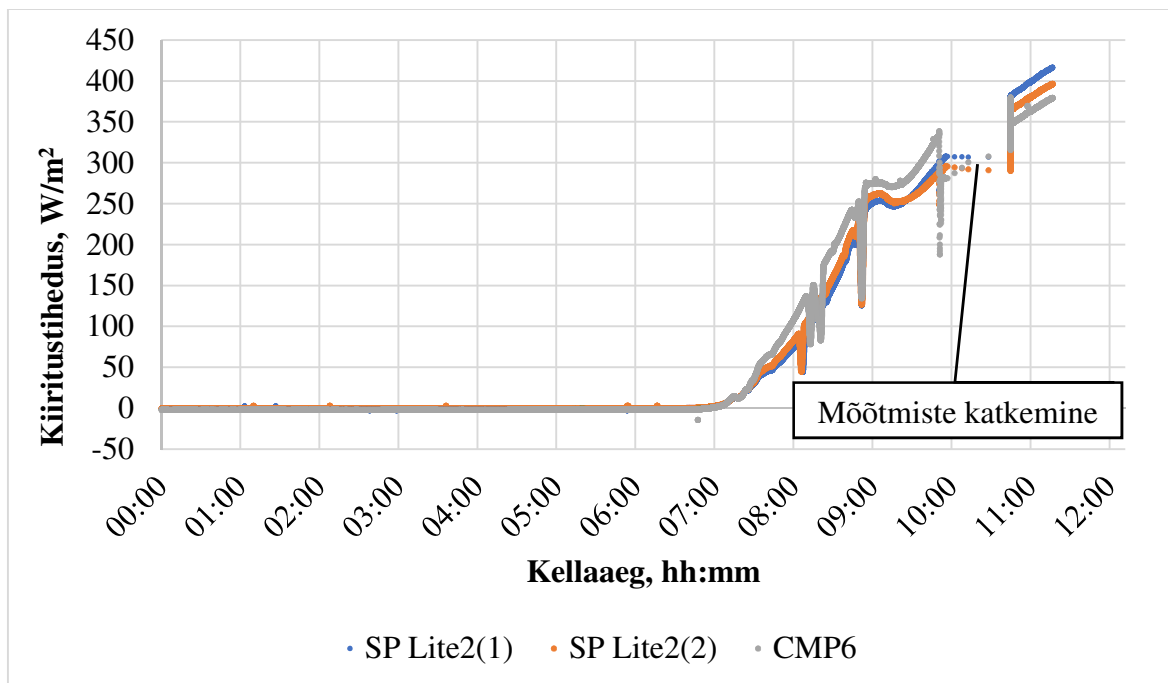


Joonis 5.8. Temperatuuriandurite rikked

Antud nähtused esinesid olukordades, kus töö autor sooritas parasjagu täiendavate andurite ühendusi kruviklemmide alla, põhjustades seeläbi olemasolevate temperatuuriandurite puuduliku ühenduse. Kui temperatuurianduri näit on püsivalt 85 kraadi, siis võib see samuti tähendada seda, et kaablite pikkus on liiga suur, ning kaaluda tuleks kas *pull-up* takisti väärtuse alandamist, kaabli tüübi vahetust (kogemustele tuginedes tuleks eelistada CAT5 keerupaaridega varjestamata internetikaablit) või ühendusskeemi täienduste tegemist.

Teiseks rikkeks, millega kokku puututi, oli kogu temperatuurimõõtmiste süsteemi ebastabiilseks muutumine. 18. aprillil pärast rohkem kui kuu aega stabiilset temperatuurimõõtmist ning salvestamist ei suutnud Raspberry Pi enam aeg-ajalt lugeda väljas asuva veekindla anduri DS18B20 temperatuuri. Avastati, et *I-Wire* süsteemis võib juhtuda nii, et kui üks andur saadab vigaseid signaale, siis muutub kogu temperatuuri mõõtesüsteemi töö ebastabiilseks ning loetamatuteks muutuvad ka teiste temperatuuriandurite näidud. Põhjuseks oli ühe anduri rikkiminemine. Pärast vigase temperatuurianduri asendamist analoogseid rikked rohkem ei esinenud.

Kolmas rike, millega kokku puututi, oli Raspberry Pi vahemälu täitumine. Vahemälu otsasaamise tõttu osa protsesse (näiteks kiiritustiheduse mõõtmise juhtprogramm) peatusid hetkeni, kuni piisavalt vahemälu oli jällegi vaba (joonis 5.9.)



Joonis 5.9. Mõõtmissüsteemi rike 1. märtsil

Kui tavapäraselt toimusid kiiritustiheduse mõõtmised iga sekundi järel, siis joonisel 5.9 on näha kella 9.50-st kuni kella 10.45-ni kestnud mõõtmiste katkemine. Häiringute põhjuseks oli vahemälu ressursi puudus. Jooksvalt graafikute jälgimiseks ühendas töö autor ennast üle võrgu VNC Vieweri abil Raspberry Pi-ga ning vaatles mõõtmisi Chromium internetilehitsejas. Olukorras, kus Raspberry Pi-l jäi internetilehitseja Chromium pikaajaliselt tööle, hakkas mälu kasutus iseeneslikult ning peatamatult tõusma (*memory leak* ehk mälu leke) hetkeni, kuni Raspberry Pi-l polnud enam piisavalt mälu, et protsesse käigus hoida. Sellel hetkel käivitus Raspbiani sisse ehitatud „oom-killer“, mis tööpõhimõtte kohaselt suleb enim mälu tarbiva protsessi. Kuna „oom-killer“-i töötamine võtab aega, oli Raspberry Pi töötamine häiritud ligikaudu 30 minutit. Antud nähtusele jõuti jälile tänu Raspberry Pi logifailidele, mis asuvad kataloogis /var/log/. Antud kataloogis asub fail syslog, kus kuvatakse erinevad toimingud, mida Raspberry Pi päeva jooksul teeb. Võib järeldada, et erinevate mõõtesüsteemi häiringute anomaaliate põhjusi, mis pole seotud puudulike andurite ühenduste tõttu, on mõttekas otsida Raspberry Pi süsteemi logifailidest.

KOKKUVÕTE

Töö käigus tutvuti Eesti Maaülikooli katusel asuva päikeseküttesüsteemiga TiSUN SWS 2,5W/BE200 ning nende tööparameetrite mõõtmiseks kasutatavate mõõtmissüsteemide RESOL WMZ-iga ning signaaluundur TC-08 baasil põhineva mõõtmissüsteemiga. Viimase amortiseerumise ning uute andurite tekkimise tõttu oli vaja luua rohkemate võimalustega mõõtesüsteem.

Käesoleva töö tulemusena loodi uus päikeseküttesüsteemi tööparameetreid mõõtev süsteem mikroarvuti Raspberry Pi baasil. Raspberry Pi-le analoogsignaali võimekuse tekitamiseks kasutati laiendusplaat WaveShare AD/DA board. Kiiritustiheduse mõõtmiseks kasutati olemasolevaid Kipp&Zonen-i püranomeetreid SP Lite2 ning CMP6. Püranomeetritega mõõdeti horisontaalsele pinnale langevat kiiritustihedust ning päikesekollektori pinna kiiritustihedust. Päikeseküttesüsteemis erinevate temperatuuride mõõtmiseks kasutati digitaalsete temperatuuriandureid DS18B20. Mõõdetavateks parameetriteks olid päikesekollektoris siseneva soojuskandja temperatuur õues, päikesekollektorst lahkuva soojuskandja temperatuur õues, temperatuur päikesekollektori klaasi all, välisõhu temperatuur, päikesekollektoris siseneva soojuskandja temperatuur ruumis, päikesekollektorst lahkuva soojuskandja temperatuur ruumis, akumulatsioonipaagi ruumi temperatuur, akumulatsioonipaagist väljuva vee temperatuur, akumulatsioonipaagi siseneva vee temperatuur ja akumulatsioonipaagi vee temperatuurid neljal eri kõrgusel. Akumulatsioonipaagist väljuva vee hulka mõõdeti veearvesti sensorplokiga Cyble.

Kokkuvõttes mõõdab mõõtesüsteem 14 temperatuuriväärtust, kahe anduriga horisontaalpinnale langeva kiiritustiheduse väärtust, paneeli pinnale langeva kiiritustiheduse väärtust ning akumulatsioonipaagist väljunud vee hulka. Andmete salvestamiseks ja töötlemiseks koostati juhtprogrammid programmeerimiskeeles Python ning lisaks kasutati erinevaid tarkvaratekke programmide mahu vähendamiseks. Mõõtetulemused salvestati .csv formaadis andmefailidesse. Mikroarvutile Raspberry Pi seadistati üles veebiserver Apache2, kuhu seati üles veebilehed, millel on võimalik jooksvalt jälgida Google Charts´i interaktiivsetel graafikutel ööpäevaseid mõõtmistulemusi.

Mõõdetud kiiritustiheduse andmete võrdlemisel teiste eraldiseisvate mõõtejaamadega veenduti mõõtetulemuste sarnasuses. Mõõtmiste käigus avastati eri objektide poolt heidetavad varjud päikesekollektorile. Mõõtetulemuste mõningate erinevuste osas järeldati, et vajalikud võivad olla püranomeetrite täiendavad kalibreerimised või tundlikkuse teguri korrigeerimised. Mõõdetud temperatuuride võrdlemisel olemasolevate süsteemide tulemustega veenduti, et temperatuuri muutumised on loogilised ning mõõtmised toimuvad korrektselt. Anduritelt täpsemate tulemuste saamise huvides järeldati, et kaaluda tuleks temperatuuriandurite täiendavat soojuslikku isoleerimist välisest keskkonnast. Akumulatsioonipaagist väljuva vee hulga mõõtmiste võrdlemisel veekulumõõtja analoognäiduga veenduti andmete õigsuses. Mõõtmistulemuste abil leiti, et päikesekollektori kasutegur oli 14. aprillil 48,5 % ning päikeseküttesüsteemi kasutegur oli 31 %.

Töös toodi välja erinevad tarkvaralised ning riistvaralised mõõtesüsteemi rikked, millega kokku puututi. Riistvaraliste rikete korral avastati, et üks rikkis andur võib muuta ebastabiilseks kogu temperatuuri mõõtesüsteemi. Erinevate tarkvaraliste mõõtesüsteemi rikete korral leiti, et põhjuseid tasub otsida Raspberry Pi logifailidest kaustas `/var/log/` asuvast failist `syslog`.

Võrreldes varem kasutuses oleva termopaaride signaaluunduri TC-08 baasil mõõtmissüsteemiga on Raspberry Pi baasil valmistatud mõõtesüsteemil rohkem edasiarendamise võimalusi, on hinnalt oluliselt soodsam ning ei vaja eraldi personaalarvuti olemasolu.

KIRJANDUS

1. Sunheat. Päikeseküttematerjalide pakkumine nr.: 2.
<http://www.sunheat.ee/index.php?picfile=55> (11.05.2018)
2. **Reda, F.** Solar Thermal Collectors. Springer.
http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783319496962-c2.pdf?SGWID=0-0-45-1597912-p180438351 (11.05.2018)
3. RESOL. WMZ http://resol.de/Produktdokumente/48003121_WMZ_115V.monen.pdf
(11.05.2018)
4. Thermometrics Corporation. Pt1000. <http://www.thermometricscorp.com/pt1000>
(11.05.2018)
5. **Lehtla, T.** (1996). Andurid. Tallinn: TTÜ kirjastus. 125 lk.
<http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/materjal/AAR3340/Andurid.pdf>
(11.05.2018).
6. **Russak, V., Kallis, A.** (2003) Eesti Kiirguskliima teatmik. Tallinn 2003.
http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2013/01/eesti_kiirguskliima_teatmik.pdf (11.05.2018)
7. Kipp&Zonen. The working principle of a thermopile pyranometer.
<http://www.kippzonen.com/News/572/The-Working-Principle-of-a-Thermopile-Pyranometer> (11.05.2018)
8. PicoTech. Thermocouple data logger TC-08. <https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger> (11.05.2018)
9. Kipp&Zonen. Sp Lite2 Pyranometer. <http://www.kippzonen.com/Product/9/SP-Lite2-Pyranometer> (11.05.2018)
10. Kipp&Zonen. CMP6 Pyranometer. <http://www.kippzonen.com/Product/12/CMP6-Pyranometer> (11.05.2018)
11. Davis Instruments. Solar Radiation Sensor. Vantage Pro2™ Accessories
http://www.davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/6450_SS.pdf
(11.05.2018)
12. Raspberry Pi foundation. Annual Review 2017.
<https://static.raspberrypi.org/files/about/RaspberryPiFoundationReview2017.pdf>
(11.05.2018)
13. Raspberry Pi foundation. RASPBERRY PI 2 MODEL B. Available.
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/> (11.05.2018).
14. SD Association. Speed Class.
https://www.sdcard.org/developers/overview/speed_class/ (11.05.2018)
15. WaveShare Wiki. High-Precision AD/DA Board.
https://www.waveshare.com/wiki/High-Precision_AD/DA_Board (11.05.2018)
16. Texas Instruments. Very Low Noise, 24-Bit Analog-to-Digital Converter.
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1255.pdf> (11.05.2018)

17. Texas Instruments. Micropower Voltage References. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm285-2.5.pdf> (11.05.2018)
18. Lankatronics. Dallas DS18B20 TO-92 Temperature sensor. <http://www.lankatronics.com/ds18b20-temparature-sensor.html> (11.05.2018)
19. Core Electronics. Waterproof DS18B20 Digital temperature sensor. <https://core-electronics.com.au/waterproof-ds18b20-digital-temperature-sensor.html> (11.05.2018)
20. Maxim integrated. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (11.05.2018)
21. Maxim integrated. Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire Networks. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/148> (11.05.2018)
22. Moodulkilp LEGRAND 4M IP65. <https://www.esvika.ee/toode/kilp-plexo3-ip65-4m-legrand-601974/> (11.05.2018)
23. PE Klemmlist DIN-liistule 12 kohaline. <http://www.elektrimaterjalid.ee/kilbid-ja-kilbitarvikud/klemmid-din-liistule/pe-klemmid-din-liistule-12-kohalised.html?tag=Klemmid&sort=pd.name&order=DESC&page=2> (11.05.2018)
24. DSM&T. IP Rating Chart. <http://www.dsmt.com/resources/ip-rating-chart/> (11.05.2018)
25. Omni instruments. SP Lite2 <http://www.omniinstruments.co.uk/sp-lite2-silicon-pyranometer.html> (11.05.2018)
26. Omni instruments. CMP6 <http://www.omniinstruments.co.uk/cmp6-pyranometer.html> (11.05.2018)
27. MySmartshop.de. Cyble Sensor V2 (K1) <http://www.mysmartshop.de/itron-cyble-sensor-v2-k1.html> (11.05.2018)
28. Arvutitark. Raspberry Pi model 2b <https://www.arvutitark.ee/est/tootekataloog/Arvutid-ja-lisad-Lauaarvutid-Arvutitark-PC-Arvutitark-Home129/155161> (11.05.2018)
29. Fauni kaubanduse E-pood. Kingston MicroSD 16GB CL10 <http://faun.ee/memory-card-kingston-microsdhc-16gb-cl10> (11.05.2018)
30. ITT Group OÜ. Laiendusplaat Waveshare AD/DA Board. <https://www.ittgroup.ee/et/raspberry-pi-laiendusplaadid-ja-lisad/1051-adda-laiendusplaat-raspberry-pi-le.html> (11.05.2018)
31. Bauhof. Internetikaabel CAT5 UTP <https://www.bauhof.ee/et/elektrisusteemid/arvutikaabel-cat5e-utp-4x2x0-5mm2-r305-023091> (11.05.2018)
32. YE International. DS18B20 digitaalne temperatuuriandur, TO-92. <https://www.yeint.ee/elektroonika-1/arendusvahendid/andurid-1/temperatuuri-ja-niiskusandurid/ds18b20-digitaalne-temperatuuriandur-to-92> (11.05.2018)
33. YE International. DS18B20 digitaalne temperatuuriandur, veekindel <https://www.ittgroup.ee/et/andurid-ja-nende-tarvikud/403-veekindel-temperatuuriandur-ds18b20.html> (11.05.2018)
34. Oomipood. Ühepoolne trükkplaat, https://www.oomipood.ee/product/lam160x233e1_5_trukkplaat_1_poolne_160_233mm_laminaat_0_1_5mm_35um (11.05.2018)

35. Oomipood. 3-ne klemmliist PCB. https://www.oomipood.ee/product/tb_0021c_3_ne_klemml_pcb_5_0mm_h_10mm
36. Oomipood. Takisti, 3,0 kohm. https://www.oomipood.ee/product/1_4w_3k_3k_1_4w?q=takisti&category_id=248 (11.05.2018)
37. Raspberry Pi. Installing operating system images. <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/>
38. Raspberry Pi. Virtual Network Computing. <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/vnc/README.md> (11.05.2018)
39. GitHub. W1thermsensor. <https://github.com/timofurrer/w1thermsensor> (11.05.2018)
40. GitHub. PiPyADC. <https://github.com/ul-gh/PiPyADC> (11.05.2018)
41. PiGPIO. Download & Install. <http://abyz.me.uk/rpi/pigpio/download.html> (11.05.2018)
42. **Maclea, M.**, Raspberry Pi: Measure, Record, Explore. <https://leanpub.com/RPiMRE> (11.05.2018)
43. Eesti Maaülikool. Davis Vantage Pro2 ilmajaam. <http://energia.emu.ee/weather/Archive/> (11.05.2018)
44. Tartu Ülikool. Füüsika instituut, keskkonafüüsika labor. E-ilmajaam Tartus füüsikahoone katusel. Available. <http://meteo.physic.ut.ee/> (11.05.2018)
45. **Loog, R., Palge, V.** XII magistrantide teaduskonverents „Inimene ja tehnoloogiad“. Päikeselt pärineva kiiritustiheduse mõõtmine püranomeetriga, kasutades Raspberry Pi-d andmesalvestina. <http://te.emu.ee/userfiles/instituudid/te/Saaremets/XII%20mag%20konverentsi%20kogumik/XII%20MagTK%20kogumik.pdf>

LISAD

Lisa A. Signaalimuundur TC-08 tehnilised andmed [8]

Specifications

Hardware	
Number of channels (single unit)	8
Maximum number of channels (using up to 20 units)	160
Conversion time	100 ms per thermocouple channel + 100 ms for CJC (this can be disabled if all channels are used as voltage inputs)
Temperature accuracy	Sum of $\pm 0.2\%$ of reading and $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Voltage accuracy	Sum of $\pm 0.2\%$ of reading and $\pm 10\ \mu\text{V}$
Overvoltage protection	$\pm 30\ \text{V}$
Maximum common-mode voltage	$\pm 7.5\ \text{V}$
Input impedance	2 M Ω
Input range (voltage)	$\pm 70\ \text{mV}$
Resolution	20 bits
Noise-free resolution	16.25 bits
Thermocouple types supported	B, E, J, K, N, R, S, T
Input connectors	Miniature thermocouple
General	
Connectivity	USB 2.0
Device connector type	USB 2.0, Type B
Power requirements	USB port
Dimensions	201 x 104 x 34 mm (7.91 x 4.09 x 1.34 in)
Temperature range, operating	0 $^\circ\text{C}$ to 50 $^\circ\text{C}$
Temperature range, operating, for quoted accuracy	20 $^\circ\text{C}$ to 30 $^\circ\text{C}$
Temperature range, storage	-20 $^\circ\text{C}$ to 60 $^\circ\text{C}$
Humidity range, operating	5 to 80 % RH non-condensing
Humidity range, storage	5 to 95 % RH non-condensing
Altitude	Up to 2000 m
Pollution degree	Pollution degree 2
Water resistance	Not water-resistant
Safety approvals	Designed to 2014/35/EU: Low Voltage Directive
EMC approvals	Tested to 2014/30/EU: Electromagnetic Compatibility Directive
Environmental approvals	RoHS and WEEE compliant
Software	PicoLog 6, PicoSDK (available from www.picotech.com/downloads) Example code (available from Pico's GitHub organization page, github.com/picotech)

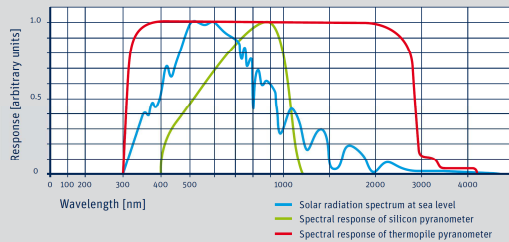
USB TC 08 thermocouple data logger

Lisa B. Püranomeeter SP Lite2 tehnilised andmed [9]

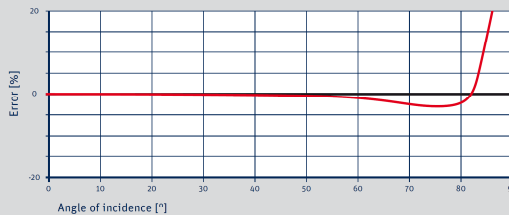
SP Lite2 is a simple pyranometer for routine measurements of solar radiation. It has a conical diffuser that provides excellent directional (cosine) response, causes rain to run off and is easy to clean. Although the spectral range is limited by the photo-diode detector, the performance of the SP Lite2 compares favorably to ISO 9060 Second Class thermopile pyranometers under clear and unobstructed natural daylight conditions.

The mounting flange incorporates a bubble level and adjustment screws, for easy leveling. A threaded hole takes the accessory screw-in mounting rod for fitting to masts and poles. Two SP Lite2 instruments can easily be bolted back-to-back, and fitted with the mounting rod, to make a simple albedometer. The standard cable length is 5 m, with an option of 15 m. SP Lite2 is ideal for use with the METEON handheld display and data logger for field test use.

Spectral response



Directional response



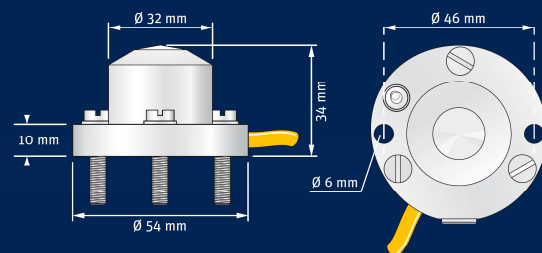
Specifications

Response time (95 %)	< 1 s
Non-stability (change/year)	< 2 %
Non-linearity (0 to 1000 W/m ²)	< 1 %
Directional error (up to 80 ° with 1000 W/m ² beam)	< 10 W/m ²
Temperature dependence (-30 °C to +70 °C)	- 0.15 %/°C

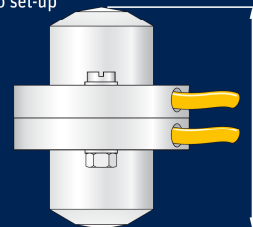
Other specifications

Sensitivity	60 to 100 µV/W/m ²
Impedance	50 Ω
Operating temperature	-30 °C to +70 °C
Spectral range (50 % points)	400 to 1100 nm
Typical signal output for atmospheric applications	0 to 100 mV
Maximum irradiance	2000 W/m ²
Detector	Silicon photo-diode

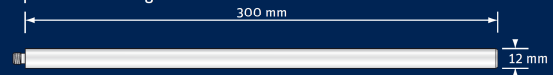
SP Lite2 has a standard captive cable of 5 m length. Optional cable length 15 m.



Albedo set-up



Optional mounting rod



6. Specifications

Kipp & Zonen reserves the right to make changes to specifications and other product documentation without prior notice.

6.1 Optical and electrical

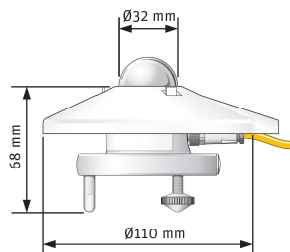
Specifications	CMP 3	CMP 6	CMP10 & CMP 11	CMP 21	CMP 22
Classification to ISO 9060:1990	Second Class	First Class	Secondary Standard	Secondary Standard	Secondary Standard
Spectral range (50% points)	300 to 2800 nm	285 to 2800 nm	285 to 2800 nm	285 to 2800 nm	200 to 3600 nm
Sensitivity	5 to 20 $\mu\text{V/W/m}^2$	5 to 20 $\mu\text{V/W/m}^2$	7 to 14 $\mu\text{V/W/m}^2$	7 to 14 $\mu\text{V/W/m}^2$	7 to 14 $\mu\text{V/W/m}^2$
Impedance	20 to 200 Ω	20 to 200 Ω	10 to 100 Ω	10 to 100 Ω	10 to 100 Ω
Expected output range (0 to 1500 W/m^2)	0 to 30 mV	0 to 30 mV	0 to 20 mV	0 to 20 mV	0 to 20 mV
Maximum operational irradiance	2000 W/m^2	2000 W/m^2	4000 W/m^2	4000 W/m^2	4000 W/m^2
Response time (63%)	< 6 s	< 6 s	< 1.7 s	< 1.7 s	< 1.7 s
Response time (95%)	< 18 s	< 18 s	< 5 s	< 5 s	< 5 s
Zero offsets					
(a) thermal radiation (at 200 W/m^2)	< 15 W/m^2	< 12 W/m^2	< 7 W/m^2	< 7 W/m^2	< 3 W/m^2
(b) temperature change (5 K/h)	< 5 W/m^2	< 4 W/m^2	< 2 W/m^2	< 2 W/m^2	< 1 W/m^2
Non-stability (change/year)	< 1%	< 1%	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%
Non-linearity (100 to 1000 W/m^2)	< 1.5%	< 1%	< 0.2%	< 0.2%	< 0.2%
Directional response (up to 80° with 1000 W/m^2 beam)	< 20 W/m^2	< 20 W/m^2	< 10 W/m^2	< 10 W/m^2	< 5 W/m^2
Spectral selectivity (350 to 1500 nm)	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%
Temperature response	< 5% (-10°C to +40°C)	< 4% (-10°C to +40°C)	< 1% (-10°C to +40°C)	< 1% (-20°C to +50°C)	< 0.5% (-20°C to +50°C)
Tilt response (0° to 90° at 1000 W/m^2)	< 1%	< 1%	< 0.2%	< 0.2%	< 0.2%
Field of view	180°	180°	180°	180°	180°
Accuracy of bubble level	< 0.2°	< 0.1°	< 0.1°	< 0.1°	< 0.1°
Temperature sensor output				10 K Thermistor (optional Pt-100)	10 K Thermistor (optional Pt-100)
Detector type	Thermopile	Thermopile	Thermopile	Thermopile	Thermopile
Operational temperature range	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C
Storage temperature range	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C	-40°C to +80°C
Humidity range	0 to 100% non-condensing	0 to 100% non-condensing	0 to 100% non-condensing	0 to 100% non-condensing	0 to 100% non-condensing
Ingress Protection (IP) rating	67	67	67	67	67
Recommended applications	Economical solution for routine measurements in weather stations, field testing	Good quality measurements for hydrology networks, greenhouse climate control	Meteorological networks, PV panel and thermal collector testing, materials testing	Meteorological networks, reference measurements in extreme climates, polar or arid	Scientific research requiring the highest level of measurement accuracy and reliability

Note: The performance specifications quoted are worst-case and/or maximum values

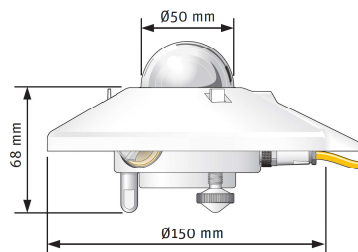
Standard 10k Thermistor or optional Pt-100 temperature sensor with CMP 21 and CMP 22

Individual directional response and temperature dependence test data with CMP 21 and CMP 22

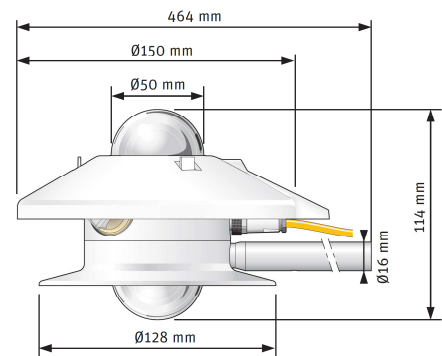
6.2 Dimensions and weight



CMP 3
Weight without cable: 0.3 kg



CMP 6, CMP10, CMP 11, CMP 21 and CMP 22
Weight without cable: 0.6 kg



CMA 6 and CMA 11
Weight without cable: 1.2 kg

Lisa D. Analooog-digitaalkoodmuunduri ADS1256 tehnilised andmed [11]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All specifications at -40°C to +85°C, AVDD = +5V, DVDD = +1.8V, f_{CLKIN} = 7.68MHz, PGA = 1, and V_{REF} = +2.5V, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Analog Inputs					
Full-scale input voltage (A _{INP} – A _{INN})		±2V _{REF} /PGA			V
Absolute input voltage (A _{IN0-7} , A _{INCOM} to AGND)	Buffer off	AGND – 0.1		AVDD + 0.1	V
	Buffer on	AGND		AVDD – 2.0	V
Programmable gain amplifier		1		64	
Differential input impedance	Buffer off, PGA = 1, 2, 4, 8, 16	150/PGA			kΩ
	Buffer off, PGA = 32, 64	4.7			kΩ
	Buffer on, f _{DATA} ≤ 50Hz ⁽¹⁾	80			MΩ
Sensor detect current sources	SDCS[1:0] = 01	0.5			μA
	SDCS[1:0] = 10	2			μA
	SDCS[1:0] = 11	10			μA
System Performance					
Resolution		24			Bit
No missing codes	All data rates and PGA settings	24			Bit
Data rate (f _{DATA})	f _{CLKIN} = 7.68MHz	2.5		30,000	SPS ⁽²⁾
Integral nonlinearity	Differential input, PGA = 1		±0.0003	±0.0010	%FSR ⁽³⁾
	Differential input, PGA = 64		±0.0007		%FSR
Offset error	After calibration	On the level of the noise			
Offset drift	PGA = 1	±100			nV/°C
	PGA = 64	±4			nV/°C
Gain error	After calibration, PGA = 1, Buffer on	±0.005			%
	After calibration, PGA = 64, Buffer on	±0.03			%
Gain drift	PGA = 1	±0.8			ppm/°C
	PGA = 64	±0.8			ppm/°C
Common-mode rejection	f _{CM} ⁽⁴⁾ = 60Hz, f _{DATA} = 30kSPS ⁽⁵⁾	95		110	dB
Noise		See Noise Performance Tables			
AVDD power-supply rejection	±5% Δ in AVDD	60		70	dB
DVDD power-supply rejection	±10% Δ in DVDD			100	dB
Voltage Reference Inputs					
Reference input voltage (V _{REF})	V _{REF} ≡ VREFP – VREFN	0.5	2.5	2.6	V
Negative reference input (VREFN)	Buffer off	AGND – 0.1		VREFP – 0.5	V
	Buffer on ⁽⁶⁾	AGND		VREFP – 0.5	V
Positive reference input (VREFP)	Buffer off	VREFN + 0.5		AVDD + 0.1	V
	Buffer on ⁽⁶⁾	VREFN + 0.5		AVDD – 2.0	V
Voltage reference impedance	f _{CLKIN} = 7.68MHz		18.5		kΩ
Digital Input/Output					
V _{IH}	DIN, SCLK, XTAL1/CLKIN, SYNC/PDWN, CS, RESET	0.8 DVDD		5.25	V
	D0/CLKOUT, D1, D2, D3	0.8 DVDD		DVDD	V
V _{IL}		DGND		0.2 DVDD	V
V _{OH}	I _{OH} = 5mA	0.8 DVDD			V
V _{OL}	I _{OL} = 5mA			0.2 DVDD	V
Input hysteresis			0.5		V
Input leakage	0 < V _{DIGITAL INPUT} < DVDD			±10	μA
Master clock rate	External crystal between XTAL1 and XTAL2	2	7.68	10	MHz
	External oscillator driving CLKIN	0.1	7.68	10	MHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

All specifications at -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$, $\text{AVDD} = +5\text{V}$, $\text{DVDD} = +1.8\text{V}$, $f_{\text{CLKIN}} = 7.68\text{MHz}$, $\text{PGA} = 1$, and $V_{\text{REF}} = +2.5\text{V}$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Power-Supply					
AVDD		4.75		5.25	V
DVDD		1.8		3.6	V
AVDD current	Power-down mode			2	μA
	Standby mode		20		μA
	Normal mode, $\text{PGA} = 1$, Buffer off		7	10	mA
	Normal mode, $\text{PGA} = 64$, Buffer off		16	22	mA
	Normal mode, $\text{PGA} = 1$, Buffer on		13	19	mA
	Normal mode, $\text{PGA} = 64$, Buffer on		36	50	mA
DVDD current	Power-down mode			2	μA
	Standby mode, CLKOUT off, $\text{DVDD} = 3.3\text{V}$		95		μA
	Normal mode, CLKOUT off, $\text{DVDD} = 3.3\text{V}$		0.9	2	mA
Power dissipation	Normal mode, $\text{PGA} = 1$, Buffer off, $\text{DVDD} = 3.3\text{V}$		38	57	mW
	Standby mode, $\text{DVDD} = 3.3\text{V}$		0.4		mW
Temperature Range					
Specified		-40		$+85$	$^{\circ}\text{C}$
Operating		-40		$+105$	$^{\circ}\text{C}$
Storage		-60		$+150$	$^{\circ}\text{C}$

(1) See text for more information on input impedance.

(2) SPS = samples per second.

(3) FSR = full-scale range = $4V_{\text{REF}}/\text{PGA}$.

(4) f_{CM} is the frequency of the common-mode input signal.

(5) Placing a notch of the digital filter at 60Hz (setting $f_{\text{DATA}} = 60\text{SPS}$, 30SPS, 15SPS, 10SPS, 5SPS, or 2.5SPS) will further improve the common-mode rejection of this frequency.

(6) The reference input range with Buffer on is restricted only if self-calibration or gain self-calibration is to be used. If using system calibration or writing calibration values directly to the registers, the entire Buffer off range can be used.

Lisa E. Temperatuuride mõõtmise juhtprogramm

```
1. #!/usr/bin/python
2. # -*- coding: <UTF-8> -*-
3. # Tarkvarateekide importimine
4. import time                                #imporditakse programmi aja teek
5. from datetime import datetime              #imporditakse programmi kuupäeva teek
6. from w1thermsensor import W1ThermSensor    #imporditakse programmi temperatuurianduri teek
7. import os                                  #imporditakse programmi operatsioonisüsteemi teek
8. import sys                                  #imporditakse programmi süsteemi moodul
9.
10. # Andmefaili loomine vastavalt kuupäevale
11.
12. failinimi = datetime.now().strftime("%Y.%m.%d")+ " Temp.csv"      #programm loob
    muutujanime hetke kuupäeva väärtusega
13. with open("/var/www/html/mootmisedtemp/" + failinimi, "w") as f:      #programm loo
    b muutujanimega andmefaili veebiserveri kausta ning avab selle faili muutujanimega „f“.
14.
15. # Päiste kirjutamine andmefaili
16.
17. f.write("aeg,SK kollektorist ruumis,SK kollektorisse ruumis,Paagi vee temperatuur 4/4 ko
    rgusel,Paagi vee temperatuur 3/4 korgusel,Paagi vee temperatuur 2/4 korgusel,Paagi vee t
    emperatuur 1/4 korgusel (koige alumine),Paagist kuuma valjuva vee temperatuur,Kulm vesi
    paaki,Ruumi temperatuur (porandal), Ruumi temperatuur (lae all),Kollektori klaasialune t
    emperatuur,Kollektorist valjuv SK katusel,Kollektorisse sisenev SK katusel,Valistemperat
    uur" + "\n")      #programm kirjutab faili esimese rea
18. f.close()      #fail suletakse
19.
20. # Mõõtekonfiguratsiooni seadistamine
21.
22. sensor1 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000005a07b57") ## SK Paneel
    ist ruumis
23. sensor2 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000005a026dd") ## SK Paneel
    i ruumis
24. sensor3 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000005a00707") ## Paagi üle
    mine temperatuur 4/4
25. sensor4 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000006c4b6a9") ## Paagi üle
    mine temperatuur 3/4
26. sensor5 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000006c467d3") ## Paagi alu
    mine temperatuur 2/4
27. sensor6 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "00000769df89") ## Paagi alu
    mine temp 1/4
28. sensor7 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "0000076b5878") ## Akumulats
    ioonipaagist kuum välja
29. sensor8 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000006c371a8") ## Kül m vesi
    paaki
30. sensor9 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000006c4beab") ## Ruumi tem
    p
31. sensor10 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "000006c53eaf") ## Ruumi te
    mp
32. sensor11 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "031688133dfff") ## Klaasial
    une temperatuur
33. sensor12 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "0416914561fff") ## Kollekt
    rist väljuv SK katusel
34. sensor13 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "0416914567fff") ## Kollekt
    risse sisenev SK katusel
35. sensor14 = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "0416914674fff") ## Välistem
    p
36.
37.
```

```

38. # Mõõtmine
39.
40. while True:
41.     s1 = sensor1.get_temperature()      # omistatakse muutujale "s1" temperatuuri numbri
        line väärtus
42.     s2 = sensor2.get_temperature()
43.     s3 = sensor3.get_temperature()
44.     s4 = sensor4.get_temperature()
45.     s5 = sensor5.get_temperature()
46.     s6 = sensor6.get_temperature()
47.     s7 = sensor7.get_temperature()
48.     s8 = sensor8.get_temperature()
49.     s9 = sensor9.get_temperature()
50.     s10 = sensor10.get_temperature()
51.     s11 = sensor11.get_temperature()
52.     s12 = sensor12.get_temperature()
53.     s13 = sensor13.get_temperature()
54.     s14 = sensor14.get_temperature()
55.
56.     # Mõõtmistulemuste kuvamine ning salvestamine andmefaili
57.     print(str(datetime.now().strftime("%d.%m.%y %H:%M:%S"))+ ", " + str(s1) + ", " + str(
s2)+ ", " + str(s3) + ", " + str(s4)+ ", " +str(s5) + ", " + str(s6)+ ", " + str(s7)+ "
, " + str(s8)+ ", " + str(s9)+ ", " + str(s10)+ ", " + str(s11)+ ", " + str(s12)+ ", " +
str(s13)+ ", " + str(s14))
58.
59.     with open("/var/www/html/mootmisedtemp/" + failinimi, "a") as f: #avatakse loodud
andmefail ning kirjutatakse sinna mõõdetud temperatuurid
60.         f.write(str(datetime.now().strftime("%d.%m.%y %H:%M:%S"))+ ", " + str(s1) + "," +
str(s2)+ "," + str(s3) + "," + str(s4)+ "," +str(s5) + "," + str(s6)+ "," + str(s7)+ "
, " + str(s8)+ "," + str(s9) + "," + str(s10)+ "," + str(s11)+ "," + str(s12)+ "," + str(s
13)+ "," + str(s14)+ "\n")
61.
62.     # Süsteemi kuupäeva võrdlemine failinimega
63.
64.     if datetime.now().strftime("%Y.%m.%d"+" Temp.csv") != failinimi : # Võrreldaks
e andmefaili nime muutuja "failinimi"-ga, mis iseloomustab hetke kuupäeva
65.         f.close() # Kui faili
nimi ei sama muutja nimega, suletakse andmefail
66.         python = sys.executable # Määratakse
programmi tüüp
67.         os.execl(python, python, * sys.argv) # Avatakse p
rogramm uuesti, asendades vana programmi protsess

```

Lisa F. Kiiritustiheduse mõõtmise juhtprogramm

```
1. #!/usr/bin/python
2. # -*- coding: utf-8 -*-
3. """Raul Loog
4. EMU
5. Pyranomeetritega paikeseikiirguse mootmine
6. Tartu 2018
7.
8. Aluseks voetud Ulrich Lukase poolt loodud "PiPyADC" Pythoni moodulid
9. analoog-digitaalkood muunduriga suhtlemiseks Raspberry Pi-le"
10. https://github.com/ul-gh/PiPyADC
11. """
12. # Tarkvarateekide importimine
13.
14. import sys ## Teek andmete esitamiseks terminalis
15. import time ## Ajateek
16. import numpy as np ## Teek andmete salvestamiseks mällu, et neid töödelda
17. import itertools ## Teek andmete töötlemiseks
18. from ADS1256_definitions import * ## Sätete fail
19. from pipyadc import ADS1256 ## Sätete fail
20. from datetime import datetime ## Kuupäeva teek
21. import os ## Süsteemimoodul programmi sulgemiseks ja uuesti avamiseks igal südaööl
22.
23. Andmefaili loomine vastavalt kuupäevale
24.
25. failinimi = datetime.now().strftime("%Y.%m.%d")+" Volt.csv" # Luuakse muutuja mis o
    mab väärtusi "aasta.kuu.päev Volt.csv"
26. with open("/var/www/html/mootmised/" + failinimi, "w") as f: # Luuakse veebise
    rverisse "failinimi" muutujanimega faili
27.     f.write("aeg,SP Lite2(1) horisontaalne,SP Lite2(2) nurga all,CMP6" + "\n")
    # Tekstifaili kirjutatakse päis
28. f.close() # Tekstifail suletakse
29.
30. # Määratakse kanalite paarid, mida võrreldakse
31. # Kui soovida mõõta üksiku sisendi pinget võrreldes 0-
    ga, siis tuleb kirjutada nt. POS_AIN0|NEG_AINCOM
32. # Käesolevas katses on oluline diferentsiaalpinge mõõtmine, seega võrreldakse kahte kana
    lit omavahel
33.
34. Mõõtekonfiguratsiooni seadistamine
35.
36. EXT3 = POS_AIN3|NEG_AIN2 ## Laiendusplaadi AIN3 sisendit võetakse positiivse sisendina n
    ing AIN2 sisendit negatiivsena.
37. EXT5, EXT7 = POS_AIN5|NEG_AIN4, POS_AIN7|NEG_AIN6
38.
39. # Määratakse kanalite paarid, mida mõõdetakse
40. CH_SEQUENCE = (EXT3, EXT5, EXT7)
41.
42.
43. ## Kõrvalekallete korral on võimalik määrata võimendustegurid või nihkekonstant.
44. CH_OFFSET = np.array(( 0, 0, 0), dtype=np.int)
45. GAIN_CAL = np.array((1.0, 1.0, 1.0), dtype=np.float)
46.
47. # Numpy mooduli abil luuakse digitaalne filter mis on 200 mõõtmise jooksev keskmine
48. FILTER_SIZE = 200
49.
50.
51.
52. def do_measurement():
53.
54.     ads = ADS1256()
55.
```

```

56. # ADC mõõtesageduseks seatakse 100 mõõtmist sekundis
57. ads.drata = DRATE_100
58.
59. # Käivitatakse ADC kalibreerimine
60. ads.cal_self()
61.
62. # Kanali võimendustegurit korrutatakse väikseima biti kaaluga, et kuvada iga kanali
    pinge
63.
64. CH_GAIN = ads.v_per_digit * GAIN_CAL
65.
66. # Numpy massiivis hoitakse kõiki töötlemata andmeid. Igas reas on määratud kanali
67. # mõõtetulemus. Igas veerus on vastavalt niipalju mõõtmisi kui palju määrati
68. # filtri suuruseks. Käesoleval juhul 200 mõõtmist iga kanali paari kohta.
69.
70. rows, columns = FILTER_SIZE, len(CH_SEQUENCE)
71. filter_buffer = np.zeros((rows, columns), dtype=np.int)
72.
73. # Esmalt täidetakse puhver mõõtetulemustega
74. print("Kanaleid seadistatud: {}\n"
75.       "Filtri seadistamine (Palun oodake)...".format(
76.         len(CH_SEQUENCE)))
77. for row_number, data_row in enumerate(filter_buffer):
78.     # Kanalipaaride mõõtmine
79.     ads.read_sequence(CH_SEQUENCE, data_row)
80.     # Kuvatakse filtri puhvri täitumise progress
81.     sys.stdout.write(
82.         "\rProgress: {:3d}%".format(int(100*(row_number+1)/FILTER_SIZE)))
83.     sys.stdout.flush()
84.
85. print("\n\nTulemused on {} ADC keskmised:".format(FILTER_SIZE))
86. timestamp = time.time() # Määratakse andmete salvestamise ajahetk
87. for data_row in itertools.cycle(filter_buffer):
88.     #
89.     # Mõõdetakse vastavalt kanalile ning seejärel kantakse see andmemassiivis
    vastavasse kohta
90.
91.     ads.read_sequence(CH_SEQUENCE, data_row)
92.
93.     elapsed = time.time() - timestamp # Möödunud ajahetk andmete salvestamise alguse
    st
94.     if elapsed > 1: ## Kui möödunud on sekund...
95.         timestamp += 1 ## Liidetakse
96.
97.     # Arvutatakse jooksev mõõtetulemuste jooksev keskmine ning lahutatakse nihke
    tegur
98.     ch_unscaled = np.average(filter_buffer, axis=0) - CH_OFFSET
99.     ch_volts = ch_unscaled * CH_GAIN
100.
101.     # Mõõtmistulemuste kuvamine ning salvestamine andmefaili
102.
103.     nice_output([int(i) for i in ch_unscaled], ch_volts)
104.     with open("/var/www/html/mootmised/" + failinimi, "a") as f: #avata
    kse fail, mis
105.         #varem tekitati ning kirjutatakse sinna mõõdetud ja töödeldud and
    med
106.         # Esimesse veergu kirjutatakse kuupäev.kuu.aasta.tund.minut.sekun
    d.
107.         # Teise veergu kirjutatakse esimese kanalitepaari pinge korrutatu
    d 1000000-ga (V -> uV)
108.         # mis jagatakse püranomeetri konstandiga.
109.         # Kolmas ja neljas veerg on analoogne teisele veerule
110.
111.         f.write(str(datetime.now().strftime("%d.%m.%y %H:%M:%S"))+", " + s
    tr(ch_volts[0]*1000000/73.1) +

```



```

112.         ","+ str(ch_volts[1]*1000000/61.7) + "," + str(ch_volts[2
    ]*1000000/14.91) + "\n")
113.         # Iga kirjutustsükli lõpus kontrollitakse kas mõõtesüsteemi kuupä
    ev on sama faili nimele
114.         # Süsteemi kuupäeva võrdlemine failinimega
115.
116.         if datetime.now().strftime("%Y.%m.%d")+ " Volt.csv" != failinimi:
117.             # Kui mõõtesüsteemi kuupäev on erinev faili nimest, siis programm
    taaskäivitatakse.
118.             python = sys.executable
119.             os.execl(python, python, * sys.argv)
120.             # Programmi taaskäivitamisel luuakse uus andmefail süsteemi kuupä
    eva järgi
121.
122.         # Terminaliaknasse väljundi kuvamine
123.         # Mõõtmistulemuste kuvamine
124.         def nice_output(digits, volts):
125.             sys.stdout.write(
126.                 """
127.                 Kanalite toodeldud tulemused pingeks:
128.                 SP Lite2(1),  SP Lite2(2),    CMP6
129.                 """
130.                 + ", ".join(["{: 8.8f}".format(i) for i in volts])
131.
132.                 + "\n")
133.             sys.stdout.flush()
134.
135.         # Mõõtmise
136.         # Andmesalvestuse algus
137.         try:
138.             do_measurement()
139.

```

Lisa G. Veehulga mõõtmise juhtprogramm

```
1. #!/usr/bin/env python
2. # Tarkvarateekide importimine
3. import pigpio          #imporditakse Raspberry Pi GPIO-de lugemise teek
4. import time            #imporditakse programmi aja teek
5. from datetime import datetime  #imporditakse programmi kuupäeva teek
6. import os              #imporditakse programmi operatsioonisüsteemi teek
7. import sys             #imporditakse programmi süsteemi teek

8. # Andmefaili loomine
9.
10. failinimi = datetime.now().strftime("%Y.%m.%d")+" Vesi.csv"      # Luuakse muut
    uja mis omab väärtusi "aasta.kuu.päev Vesi.csv"
11. with open("/var/www/html/mootmisedvesi/" + failinimi, "w") as f:  # Luuakse veeb
    iserverisse "failinimi" muutujanimega andmefail

12. # Päiste kirjutamine faili
13. f.write("aeg,veekulu" + "\n")    # Tekstifaili kirjutatakse päis
14. f.close()                        # Loodud tekstifail suletakse

15.

16. # Mõõtekonfiguratsiooni seadistamine
17. GPIO=[2]                        # Määratakse GPIO viik, mida hakatakse mõõtma
18. pi = pigpio.pi()                # Käivitatakse moodul pigpio
19. pi.set_mode(2, pigpio.INPUT)    # Määratakse GPIO sisendviiguks. (Ehk viiguks, mida loet
    akse)
20. pi.set_glitch_filter(2, 300000) # Seadistatakse filter, mille tagajärjel loetakse ainult
    impulsse mis jäävad stabiilsesse olekusse pikemaks ajaks kui 0,3 sekundit
21. cb = pi.callback(2)             # Luuakse tagasikutsumis muutuja.

22. # Igakord kui GPIO viik läheb kõrgseisu, pöördutakse tagasikutsumis muutja poole.
23. # Kuna iga tagasikutsumine on võrdne ühe impulsiga veelugejalt, ning iga impulss on võrd
    ne 1 liitri veega, on 1 tagasikutsumine võrdne 1 liitri veega.

24.

25. # Mõõtmistulemuste kuvamine ning salvestamine andmefaili
26. try:
27.     while True:
28.         print("GPIO 2 count {}".format(cb.tally())) # Prinditakse mitu korda tagasikutsu
    mist on esile tulnud
29.         with open("/var/www/html/mootmisedvesi/" + failinimi, "a") as f:  # Avatakse an
    dmefail
30.             f.write(str(datetime.now().strftime("%d.%m.%y %H:%M:%S"))+ "," + str
    (cb.tally()) + "\n")

31.

32. # Süsteemi kuupäeva võrdlemine failinimega
33. if datetime.now().strftime("%Y.%m.%d"+" Temp.csv") != failinimi : # Vörreldakse andme
    faili nime muutuja "failinimi"-ga, mis iseloomustab hetke kuupäeva
34.     f.close()                                                    # Kui fa
    ili nimi ei sama muutja nimega, suletakse andmefail
35.     python = sys.executable                                     # Määrat
    akse programmi tüüp
36.     os.execl(python, python, * sys.argv)                         # Avatak
    se programm uuesti, asendades vana programmi protsess

37.     time.sleep(1.0) # Viivituslülili, et mõõtmiste kuvamine/salvestus toimuks iga seku
    ndi tagant.
38.
39.
40. except KeyboardInterrupt:    # Programmi sulgemine vajutades ctrl+c
41.     print("")                # Prinditakse tühi
42.
43. # cancel the callabacks
44.     cb.cancel()              # Impulside lugemine katkestatakse
45.
46. pi.stop() # pigpio moodul suletakse
```

Lisa H. Kiiritustiheduse graafiku kuvamine veebilehel

```
1. < html > < head > < meta charset = "utf-8" > < meta http - equiv = "X-UA-Compatible"
2. content = "IE=edge" > < meta name = "viewport"
3. content = "width=device-width, initial-scale=1" > < meta name = "HandheldFriendly"
4. content = "True" > < meta name = "MobileOptimized"
5. content = "320" > < title > EMÜ Tehnikamaja päikesekütte graafikud < /title> < meta name
  = "description"
6. content = "test" > < script src = "http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.3.1/jqu
  ery.min.js" > < /script> < script src = "jquery.csv.min.js" > < /script> < script type =
  "text/javascript"
7. src = "http://www.google.com/jsapi" > < /script> < script type = "text/javascript" >
8.   google.load('visualization', '1', {
9.     packages: ['corechart', 'controls']
10.   }); < /script> <? php echo "<select name='files'>";
11. $files = array_map("htmlspecialchars", scandir("/var/www/html/mootmised/", 1));
12. $filtreeritud_files = array_diff($files, array('..', '.'));
13. foreach($filtreeritud_files as $file) echo "<option value='$file'>$file</option>";
14. echo "</select>";
15. print_r($filtreeritud_files[0]); ?> < script type = "text/javascript" > function drawVis
  ualization() {
16.   var js_variable = <? php echo json_encode($filtreeritud_files[0]); ?> ;
17.   $.get("/mootmised/" + js_variable, function(csvString) { // CSV faili teisendus
    andmemassiiviks
18.     var arrayData = $.csv.toArrays(csvString, {
19.       onParseValue: $.csv.hooks.castToScalar
20.     });
21.     var data = new google.visualization.arrayToDataTable(arrayData);
22.     var crt_ertdlyYY = new google.visualization.ChartWrapper({
23.       chartType: 'LineChart',
24.       containerId: 'crt_ertdlyYY',
25.       dataTable: data,
26.       options: {
27.         width: 900,
28.         height: 500,
29.         title: 'Kiirgusandurite mootmised EMU Tehnikamaja katusel',
30.         titleTextStyle: {
31.           color: 'grey',
32.           fontSize: 11
33.         },
34.         vAxis: {
35.           title: 'Kiiritustihedus W/m2'
36.         },
37.       }
38.     });
39.     crt_ertdlyYY.draw();
40.   });
41. }
42. google.setOnLoadCallback(drawVisualization) < /script> < div id = "crt_ertdlyYY" > < /di
  v> < /html>
```

Lisa I. Temperatuuride graafiku kuvamine veebilehel

```
1. < html > < head > < meta charset = "utf-8" > < meta http - equiv = "X-UA-Compatible"
2. content = "IE=edge" > < meta name = "viewport"
3. content = "width=device-width, initial-scale=1" > < meta name = "HandheldFriendly"
4. content = "True" > < meta name = "MobileOptimized"
5. content = "320" > < title > EMU Päikeseküte < /title> < meta name = "description"
6. content = "test" > < script src = "http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.3.1/jqu
  ery.min.js" > < /script> < script src = "jquery.csv.min.js" > < /script> < script type =
  "text/javascript"
7. src = "http://www.google.com/jsapi" > < /script> < script type = "text/javascript" >
8.   google.load('visualization', '1', {
9.     packages: ['corechart', 'controls']
10.   }); < /script> <? php echo "<select name='files'>";
11. $files = array_map("htmlspecialchars", scandir("/var/www/html/mootmisedtemp/", 1));
12. $filtreeritud_files = array_diff($files, array('.', '..'));
13. foreach($filtreeritud_files as $file) echo "<option value='$file'>$file</option>";
14. echo "</select>";
15. print_r($filtreeritud_files[0]); ?> < script type = "text/javascript" > function drawVis
  ualization() {
16.   var js_variable = <? php echo json_encode($filtreeritud_files[0]); ?> ;
17.   $.get("/mootmisedtemp/" + js_variable, function(csvString) { // CSV faili teisendus
  andmemassiiviks
18.     var arrayData = $.csv.toArrays(csvString, {
19.       onParseValue: $.csv.hooks.castToScalar
20.     });
21.     var data = new google.visualization.arrayToDataTable(arrayData);
22.     var crt_ertdlyYY = new google.visualization.ChartWrapper({
23.       chartType: 'LineChart',
24.       containerId: 'crt_ertdlyYY',
25.       dataTable: data,
26.       options: {
27.         width: 1200,
28.         height: 700,
29.         chartArea: {
30.           left: 130,
31.           width: "60%",
32.           height: "70%"
33.         },
34.         title: 'Temperatuuriandurite mõõtmised EMU Tehnikamaja päikeseküttesüste
  emis',
35.         titleTextStyle: {
36.           color: 'grey',
37.           fontSize: 11
38.         },
39.         vAxis: {
40.           title: 'Temperatuur °C'
41.         },
42.         legend: {
43.           maxLines: 1,
44.           textStyle: {
45.             fontSize: 15
46.           }
47.         },
48.       }
49.     });
50.     crt_ertdlyYY.draw();
51.   });
52. }
53. google.setOnLoadCallback(drawVisualization) < /script> < div id = "crt_ertdlyYY" > < /di
  v> < /html>
```

Lisa J. Akumulatsioonipaagist väljuva veehulga graafiku kuvamine veebilehel

```
1. < html > < head > < meta charset = "utf-8" > < meta http - equiv = "X-UA-Compatible"
2. content = "IE=edge" > < meta name = "viewport"
3. content = "width=device-width, initial-scale=1" > < meta name = "HandheldFriendly"
4. content = "True" > < meta name = "MobileOptimized"
5. content = "320" > < title > EMU Päikeseküte < /title> < meta name = "description"
6. content = "test" > < script src = "http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.3.1/jquery.min.js" > < /script> < script src = "jquery.csv.min.js" > < /script> < script type =
   "text/javascript"
7. src = "http://www.google.com/jsapi" > < /script> < script type = "text/javascript" > google.load('visualization', '1', {
8.   packages: ['corechart', 'controls']
9. }); < /script> <? php echo "<select name='files'>";
10. $files = array_map("htmlspecialchars", scandir("/var/www/html/mootmisedvesi/", 1));
11. $filtreeritud_files = array_diff($files, array('..', '.'));
12. foreach($filtreeritud_files as $file) echo "<option value='$file'>$file</option>";
13. echo "</select>";
14. print_r($filtreeritud_files[0]); ?> < script type = "text/javascript" > function drawVisualization() {
15.   var js_variable = <? php echo json_encode($filtreeritud_files[0]); ?> ;
16.   $.get("/mootmisedvesi/" + js_variable, function(csvString) { CSV faili teisendus
   andmemassiiviks
17.     var arrayData = $.csv.toArrays(csvString, {
18.       onParseValue: $.csv.hooks.castToScalar
19.     });
20.     var data = new google.visualization.arrayToDataTable(arrayData);
21.     var crt_ertdlyYY = new google.visualization.ChartWrapper({
22.       chartType: 'LineChart',
23.       containerId: 'crt_ertdlyYY',
24.       dataTable: data,
25.       options: {
26.         width: 1200,
27.         height: 700,
28.         chartArea: {
29.           left: 130,
30.           width: "60%",
31.           height: "70%"
32.         },
33.         title: 'Veemõõtja mõõtmised EMU Tehnikamaja päikeseküttesüsteemis',
34.         titleTextStyle: {
35.           color: 'grey',
36.           fontSize: 11
37.         },
38.         vAxis: {
39.           title: 'veehulk, l',
40.           viewWindow: {
41.             min: 0.0
42.           }
43.         },
44.         legend: {
45.           maxLines: 1,
46.           textStyle: {
47.             fontSize: 15
48.           }
49.         }
50.       });
51.     crt_ertdlyYY.draw();
52.   });
53. google.setOnLoadCallback(drawVisualization) < /script> < div id = "crt_ertdlyYY" > < /div> < /html>
```

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Raul Loog,
sünniaeg 18.04.1993

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Päikeseküttesüsteemi tööparameetreid mõõtev süsteem mikroarvuti baasil,

mille juhendaja on Veli Palge,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
- kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
allkiri

Tartu, 24.05.2018

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)